

# OPTICAL PATH CONVERTER USED FOR LINEAR ARRAY LASER DIODE AND LASER DEVICE USING THE SAME AND ITS PRODUCTION

Publication number: JP7098402

Publication date: 1995-04-11

Inventor: YAMAGUCHI SATORU; DAIMON MASAHIRO; CHIBA KOICHI; KOBAYASHI TETSUO; SAITO YOSHIMASA

Applicant: NIPPON STEEL CORP

Classification:

- international: G02B6/42; G02B5/04; G02B27/09; H01S3/094; H01S5/00; H01S5/022; H01S5/40; G02B6/42; G02B5/04; G02B27/09; H01S3/094; H01S5/00; H01S5/00; (IPC1-7): G02B5/04; G02B6/42; H01S3/094; H01S3/18; H01S3/25

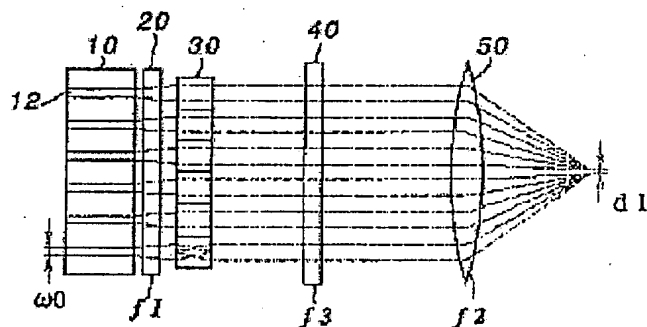
- European:

Application number: JP19940113653 19940428

Priority number(s): JP19940113653 19940428; JP19930124647 19930430; JP19930182048 19930628; JP19930190775 19930702; JP19930197926 19930714; JP19930201116 19930720

## Abstract of JP7098402

**PURPOSE:** To provide the semiconductor laser device which is increased in energy density at the focus of the semiconductor laser, the optical path converter which is capable of increasing the energy density by extremely diminishing the focus of the linear array semiconductor laser device and the powerful semiconductor laser excited solid-state laser device for which the semiconductor laser device is used. **CONSTITUTION:** Dotty laser beam groups are disposed on the front surface of a linear array laser element 10 and the laser beam groups refracted and collimated in a direction nearly perpendicularly to the direction of the dot lines thereof are received and are radiated by perpendicularly rotating the direction of the laser beams from the respective emitters or the respective emitter groups, by which the laser beams are converted to substantially ladder-shaped laser beam groups. These substantially ladder-shaped laser beam groups are independently collimated in two directions and are converged to the focus, by which the density of the laser energy at the focus is improved. Such laser energy is used as the exciting source of the semiconductor laser excited solid-state laser device.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平7-98402

(43) 公開日 平成7年(1995)4月11日

| (51) Int.Cl. <sup>6</sup> | 識別記号  | 庁内整理番号    | F I | 技術表示箇所 |
|---------------------------|-------|-----------|-----|--------|
| G 0 2 B                   | 5/04  | Z 9224-2K |     |        |
|                           | 6/42  | 9317-2K   |     |        |
| H 0 1 S                   | 3/094 |           |     |        |
|                           | 3/18  |           |     |        |

H 0 1 S 3/094

審査請求 未請求 請求項の数56 F D (全 34 頁) 最終頁に続く

|              |                 |          |  |
|--------------|-----------------|----------|--|
| (21) 出願番号    | 特願平6-113653     | (71) 出願人 | 000006655<br>新日本製鐵株式会社<br>東京都千代田区大手町2丁目6番3号  |
| (22) 出願日     | 平成6年(1994)4月28日 | (72) 発明者 | 山口 哲<br>相模原市淵野辺5-10-1 新日本製鐵株式会社エレクトロニクス研究所内  |
| (31) 優先権主張番号 | 特願平5-124647     | (72) 発明者 | 大門 正博<br>相模原市淵野辺5-10-1 新日本製鐵株式会社エレクトロニクス研究所内 |
| (32) 優先日     | 平5(1993)4月30日   | (72) 発明者 | 千葉 宏一<br>東京都千代田区大手町2-6-3 新日本製鐵株式会社内          |
| (33) 優先権主張国  | 日本 (J P)        | (74) 代理人 | 弁理士 大島 陽一                                    |
| (31) 優先権主張番号 | 特願平5-182048     |          |  |
| (32) 優先日     | 平5(1993)6月28日   |          |  |
| (33) 優先権主張国  | 日本 (J P)        |          |  |
| (31) 優先権主張番号 | 特願平5-190775     |          |  |
| (32) 優先日     | 平5(1993)7月2日    |          |  |
| (33) 優先権主張国  | 日本 (J P)        |          |  |

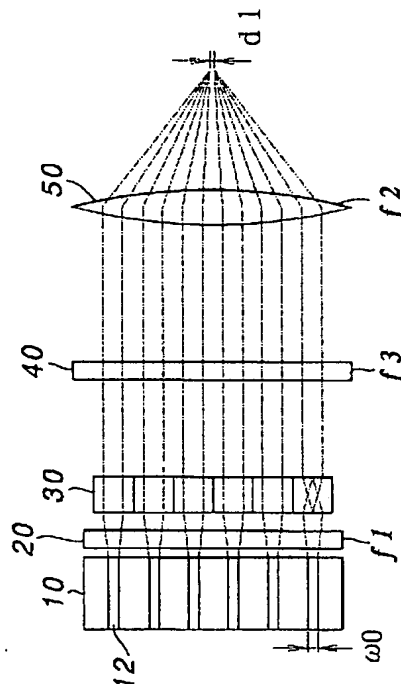
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 リニアアレイレーザダイオードに用いる光路変換器及びそれを用いたレーザ装置及びその製造方法

(57) 【要約】 法

【目的】 半導体レーザ装置の焦点に於けるエネルギー密度を高くした半導体レーザ装置及びリニアアレイ半導体レーザ装置の焦点を極めて小さくしてエネルギー密度を高くすることが可能な光路変換器及び上記半導体レーザ装置を用いた強力な半導体レーザ励起固体レーザ装置を提供する。

【構成】 点線状のレーザビーム群を放射するリニアアレイレーザ素子の前面に配設されて、その点線の向きに対してほぼ垂直に方向に屈折してコリメートされたレーザビーム群を受光し、各エミッタまたは各エミッタ群からのレーザビームの向きを直角に旋回して放射することにより、実質的な梯子状レーザビーム群に変換し、この実質的な梯子状レーザビーム群を2つの方向に独立的にコリメートして焦点に収斂し焦点に於けるレーザエネルギーの密度を向上し、これを半導体レーザ励起固体レーザ装置の励起源とすることで、上記目的を達成できる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザビームを放射する第1の方向に長い複数のエミッタが、該第1の方向に直線的に並ぶように設けられ、点線状のレーザビーム群を放射するリニアアレイレーザダイオードと、

前記リニアアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を前記第1の方向に対してほぼ垂直な第2の方向に屈折させてコリメートする第1の集光器と、

前記第1の集光器の前面に配設され、前記第2の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する光路変換器と、

少なくとも1個のレーザビームの断面の軸をほぼ直角に曲げる光学素子を複数並列して備え、前記第2の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して前記光学素子毎にレーザビームの断面の軸を旋回して前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群として放射する光路変換器と、

前記実質的な梯子状レーザビーム群を前記第1の方向とほぼ垂直な方向にコリメートして平行化する第2の集光器と、

前記第2の集光器から放射されるレーザビーム群を焦点に集光させる第3の集光器とを備える半導体レーザ装置。

【請求項2】 前記焦点面に有する光ファイバを備えることを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ装置。

【請求項3】 前記第1の集光器と前記第2の集光器とがそれぞれシリンドリカルレンズであることを特徴とする請求項1に記載の半導体レーザ装置。

【請求項4】 光軸に垂直な断面が第1の軸を有する入射光線を受光するための受光部と、前記光線断面の第1の軸をほぼ直角に旋回させる光学系と、

前記光学系を通過した出射光線を出射する出射部とを備える複数光学素子を、前記光学素子がリニアアレイレーザダイオードの放射面に対応するように、該各光学素子の受光部と出射部とをそれぞれ同一平面上に隣接させてリニアに配列したことを特徴とする光路変換器。

【請求項5】 前記光学素子をリニアアレイレーザダイオードのエミッタの間隔と同じ間隔で配置したことを特徴とする請求項4に記載の光路変換器。

【請求項6】 前記光学素子をリニアアレイレーザダイオードの複数のエミッタに対応させたことを特徴とする請求項4に記載の光路変換器。

【請求項7】 前記光学素子が、前記受光部で受光した前記第1の軸を有する入射光線が入射する第1の反射面と、該第1の反射面から入射する入射光線を反射して前記第1軸をほぼ直角に旋回させた出射光線を出射する

第2の反射面とを有することを特徴とする請求項4に記載の光路変換器。

【請求項8】 前記光学素子が、前記入射光線の光軸を表す単位方向ベクトルをA、入射光線に於ける前記第1の軸の方向を表す単位方向ベクトルをA<sub>p</sub>、出射光線の光軸を表す単位方向ベクトルをC、出射光線に於ける旋回された前記第1の軸の方向を表す単位方向ベクトルをC<sub>p</sub>、AとCとがなす角をθ、第1の反射面の法線を表す単位方向ベクトルをN、第2の反射面の法線を表す単位方向ベクトルをMとして、

$$(N \cdot A)^2 + (M \cdot A)^2 - 2(N \cdot A)(M \cdot A)(N \cdot M) = (1 - \cos \theta) / 2$$

$$(N \cdot A_p)^2 + (M \cdot A_p)^2 - 2(N \cdot A_p)(M \cdot A_p)(N \cdot M) = 1 / 2$$

の関係が成立するように入射光線の光軸と前記光学素子の受光部と前記第1の反射面と第2の反射面と出射部とを有することを特徴とする請求項7に記載の光路変換器。

【請求項9】 前記光学素子に於て、前記入射光線の光軸と出射光線の光軸とのなす角θがほぼ90°であり、前記第1の反射面の法線が入射光線の光軸の方向とその前記第1の軸の方向とにより規定される平面内にある、該法線と入射光線とのなす角が鋭角であり、前記第2の反射面が前記入射光線と平行でその法線が入射光線の前記第1軸に対してほぼ45°の傾きをなすことを特徴とする請求項7に記載の光路変換器。

【請求項10】 前記鋭角が45°であることを特徴とする請求項9に記載の光路変換器。

【請求項11】 前記第1の反射面と前記第2の反射面とが60°で交わることを特徴とする請求項9に記載の光路変換器。

【請求項12】 前記第2の反射面からの入射光線を入射してその光軸をほぼ直角に偏向し、光路変換器から出射する出射光線の光軸の向きを前記入射光線の光軸とほぼ平行にする第3の反射面を更に備えることを特徴とする請求項7に記載の光路変換器。

【請求項13】 互いに直交する第1及び第2の平面を有する立体に於ける前記2つの平面が交わる部分に、前記第1の平面に直交し、かつ前記第2の平面と45°の挟角をもって交わる第1の反射面と、前記第2の平面に直交しかつ前記第1の平面と45°の挟角をもって交わる第2の反射面とからなる2つの反射面の対を互いに隣接させて複数個列設してなることを特徴とする請求項7に記載の光路変換器。

【請求項14】 前記第1の平面に、直角プリズムを対向配置してなることを特徴とする請求項13に記載の光路変換器。

【請求項15】 前記光学素子が、受光部としての入射面と、出射部としての出射面と、光学系として前記光線の断面の前記第1の軸をほぼ直角に旋回するように配

設した複数の内部反射面とを有する透明体からなるプリズムであることを特徴とする請求項 7 に記載の光路変換器。

【請求項 16】 前記第 1 の反射面が鉛直であり、かつ入射面に対してほぼ  $45^\circ$  傾き、前記第 2 反射面が入射面に対し垂直で水平面に対してほぼ  $45^\circ$  傾いていることを特徴とする請求項 15 に記載の光路変換器。

【請求項 17】 前記光学素子が、直角二等辺三角形と、該直角二等辺三角形を含む平面に降ろした垂線が該二等辺三角形の鋭角を張る頂点を通り垂線の長さが該二等辺三角形の等辺の長さに等しい頂点とからなる三角錐の形状を有することを特徴とする三角錐プリズムであることを特徴とする請求項 16 に記載の光路変換器。

【請求項 18】 前記光学素子が、前記三角錐プリズムの半導体レーザストライプに対向しない直角二等辺三角形からなる面に直角プリズムの入射面が接するような形状を有することを特徴とする請求項 17 に記載の光路変換器。

【請求項 19】 前記光学素子が、直角二等辺三角形と、該直角二等辺三角形を含む平面に降ろした垂線が該二等辺三角形の鋭角を張る頂点を通り垂線の長さが該二等辺三角形の等辺の長さに等しい頂点とからなる三角錐の三辺が何れも等しくない直角三角形からなる面を下底とし、該直角三角形と平行な平面で該三角錐を切断することにより得られる断面を上底とする形状を有する三角錐台プリズムであり、その光学素子の左右対照な二等辺台形からなる面をリニアアレイ半導体レーザの各ストライプに対向させて該光学素子をアレイ状に配設したことを特徴とする請求項 16 に記載の光路変換器。

【請求項 20】 前記光学素子が、前記三角錐台プリズムの半導体レーザストライプに対向しない頂角に直角を有する台形からなる面に入射面を接するように直角プリズムを配したことを特徴とする請求項 19 に記載の光路変換器。

【請求項 21】 前記光学素子が、受光部としての入射面と、出射部としての入射面に平行な出射面と、光学系として前記第 1 の反射面が水平な入射光線をほぼ水平に、かつほぼ直角に反射させるべく鉛直であり、かつ前記入射面に対してほぼ  $45^\circ$  傾けられており、前記第 2 の反射面が前記第 1 反射面にて反射される光線をほぼ鉛直に反射させるため前記入射面に対して垂直であり、かつ水平面に対してほぼ  $45^\circ$  傾けられており、前記第 3 の反射面が前記第 2 の反射面にて反射される光線をほぼ鉛直に反射させるため前記入射面と水平に交わり、かつ水平面に対してほぼ  $45^\circ$  傾けた配置を有する透明体からなる斜角柱プリズムであることを特徴とする請求項 12 に記載の光路変換器。

【請求項 22】 前記光学素子が、前記第 1 の反射面と前記第 2 の反射面との間、前記第 2 の反射面と前記第 3 の反射面との間及び前記第 3 の反射面と前記第 1 の反

射面との間でそれぞれ  $60^\circ$  の交差角を有することを特徴とする請求項 21 に記載の光路変換器。

【請求項 23】 前記光学素子が、立方体のひとつの頂点から引いた立方体の中心を通る対角線上に延びる所定の長さの線分が平行移動することによって生ずる斜角柱であり、線分の一の端が立方体のひとつの面内で先ず正方形の対角線上を移動し次いで辺上を所定の長さだけ移動し、更に先に通った対角線と平行に移動し最後に辺上を移動して出発点に戻るにより形成される斜角柱の形状を有することを特徴とする請求項 22 に記載の光路変換器。

【請求項 24】 前記光学素子が、立方体のひとつの面である正方形の隣合う二辺とそのうちの一边に平行な直線と正方形の対角線とで囲まれる台形が平行移動して生ずる斜角柱であり、台形の鋭角を張る頂点が立方体の中心を通る対角線を所定の長さだけ移動することにより形成される斜角柱の形状を有することを特徴とする請求項 22 に記載の光路変換器。

【請求項 25】 互いに平行な第 1 及び第 2 の平面と、前記第 1 の平面と  $135^\circ$  の挟角をもって交わる第 3 の平面と、前記第 1 の平面に対して  $\tan^{-1}(1/\sqrt{2})$  の角度で交差する方向にその稜線並びに谷線が延在する折れ曲がり角が  $60^\circ$  をなす山と谷とが洗濯板状に連続形成された周期的屈曲面からなり、かつ各稜線並びに各谷線が前記第 3 の平面と平行な第 4 の面とを有し、前記第 1 の平面を入射面とし、前記第 2 の平面を出射面とし、前記第 4 の面を構成する屈曲面のうち前記第 1 の平面と  $45^\circ$  の挟角をもって交わる面を第 1 の反射面とし、他の面を第 2 の反射面とし、前記第 3 の平面を第 3 の反射面とすることを特徴とする請求項 22 に記載の光路変換器。

【請求項 26】 透光性材料からなり、折れ曲がり角が  $60^\circ$  の三角波形断面の洗濯板状をなす周期的屈曲面と、該周期的屈曲面の各稜線並びに各谷線に平行な平面とを有する板材を準備し、前記平面に対し  $45^\circ$  の傾きを有し、前記稜線に対して  $\tan^{-1}(1/\sqrt{2})$  で交わる第 1 の切断面と、これと平行な第 2 の切断面とで切り出すことを特徴とする光路変換器の製造方法。

【請求項 27】 前記板材の準備を、折れ曲がり角が  $60^\circ$  の三角波形断面の洗濯板状をなす周期的屈曲面と、該周期的屈曲面の各稜線並びに各谷線に平行な平面とを有する立体を、前記第 1 及び第 2 の平面間距離に相応する厚さを有する板材から切除することにより行ない、更に、前記屈曲面と前記平面に鏡面加工を施してなることを特徴とする請求項 26 に記載の光路変換器の製造方法。

【請求項 28】 前記プリズムが断面が台形をなすダブプリズムである請求項 15 に記載の光路変換器。

【請求項 29】 前記光学素子が、直角二等辺三角形と該三角形を含む平面の鋭角を張る頂点に立てた垂線の

長さが該直角二等辺三角形の等辺の長さと等しい点を頂点とする三角錐の形状を有する複数の三角錐プリズムを軸対称に張り合わせたものであって、入射した光線が光路変換器の処理を受けて上と下に射出することを特徴とする請求項 7 に記載の光路変換器。

【請求項 3 0】 前記光学素子が、前記光学素子の射出面に断面が直角三角形をなす透明の角柱を前記三角錐プリズムの射出面に更に有することを特徴とする請求項 2 9 に記載の光路変換器。

【請求項 3 1】 前記光学素子が、反射面で画定された空間であって、鉛直でかつ入射光線に対してほぼ 45° 傾いた前記第 1 の反射面と、入射光線に対し平行で水平面に対してほぼ 45° 傾いた前記第 2 の反射面とを供する空間であることを特徴とする請求項 7 に記載の光路変換器。

【請求項 3 2】 前記光学素子が、反射面で画定された空間であって、鉛直でかつ入射光線に対してほぼ 45° 傾いた前記第 1 の反射面と、入射光線に対し平行で水平面に対してほぼ 45° 傾いた前記第 2 の反射面と、前記第 1 の反射面と第 2 の反射面との交線と平行な第 3 の反射面とを供する空間であることを特徴とする請求項 1 2 に記載の光路変換器。

【請求項 3 3】 前記光学素子が、直角二等辺三角形の頂点と、該直角二等辺三角形を含む平面の該直角二等辺三角形の鋭角を張る頂点に立てた垂線の長さが該直角二等辺三角形の等辺の長さに等しい点を頂点とする三角錐の形状を立方体から切除してなるものであることを特徴とする請求項 7 に記載の光路変換器。

【請求項 3 4】 前記光学素子が、一方の対角が 45° である平行四辺形を上底及び下底とする角柱に於ける上底の鋭角を有する頂点を含む部分を、水平面に対して 45° の傾きを有し、かつ前側面の法線に平行な面で切除した形状を有することを特徴とする請求項 7 に記載の光路変換器。

【請求項 3 5】 上面と該上面に直交する前面を有する角柱の前記上面と前記前面とで形成される稜線上にリニアアレイ半導体レーザのエミッタに対応した間隔で前記前面と 45° で交わる鉛直面と前記前面に垂直で上面と 45° で交わる面とで形成される切り欠きを並列して形成し、鏡面処理を施したことを特徴とする請求項 7 に記載の光路変換器。

【請求項 3 6】 上面と該上面に直交する前面を有する角柱の前記上面と前記前面とで形成される稜線上にリニアアレイ半導体レーザのエミッタに対応した間隔で前記前面と 45° で交わる鉛直面と前記前面に垂直で上面と 45° で交わる面とで形成される切り欠きを並列して形成し、更に前記上面に直角プリズムを接合したことを特徴とする請求項 1 2 に記載の光路変換器。

【請求項 3 7】 所定の厚さを有する平板に、リニアアレイ半導体レーザのエミッタに対応した間隔で形成さ

れ、かつ前面と 45° で交わる鉛直な第 1 の面と、前記間隔と同じ間隔で形成され、かつ前面に垂直で水平面と 45° で交わる第 2 の面と、前記第 1 の面と前記第 2 の面とが交わってできる稜線と平行な第 3 の面と、端にある第 1 の面と第 3 の面とを結ぶ第 4 の面と、端にある第 2 の面と第 3 の面とを結ぶ第 5 の面とで形成される切り欠きを形成し、該切り欠き面に鏡面処理を施したことを特徴とする請求項 1 2 に記載の光路変換器。

【請求項 3 8】 前記光学素子が、中心面で最も屈折率が高く側面に近づくほど屈折率が低くなる光学ガラスからなる 1 次元分布屈折率レンズ要素であって、前記中心面が水平面に対してほぼ 45° 傾いた 1 次元分布屈折率レンズ要素であることを特徴とする請求項 4 に記載の光路変換器。

【請求項 3 9】 前記光学素子が、互いに平行な 2 つの側面を有し一方の側面で最も屈折率が高く他方の側面に近づくほど屈折率が低くなる光学ガラスからなる 1 次元分布屈折率レンズ要素であって、前記側面が水平面に対してほぼ 45° 傾いた 1 次元分布屈折率レンズ要素であることを特徴とする請求項 4 に記載の光路変換器。

【請求項 4 0】 光学ガラス板の両面に、それぞれ対になるほぼ 45° 傾いた半円柱状の分布屈折率レンズ要素であって、半円の中心が最も屈折率が高く、外側になる程屈折率が低くなるレンズ要素を複数、リニアアレイレーザダイオードの放射面に対応するように、互いに隣接してリニアに配列した請求項 4 に記載の光路変換器。

【請求項 4 1】 前記光学素子が、軸をほぼ 45° 傾けた凸型のシリンドリカルレンズの対を所定の距離空間を挟んで対向配置したものであることを特徴とする請求項 4 に記載の光路変換器。

【請求項 4 2】 前記光学素子が、側面の両端に凸型のレンズ部分を有するシリンドリカルレンズであり、該光学素子を複数、入射光線に対してほぼ 45° 傾けて接合させたことを特徴とする請求項 4 に記載の光路変換器。

【請求項 4 3】 断面が長方形をなす光学ガラス製角柱の入射面と射出面とに同じ方向にほぼ 45° 傾いた円柱状表面を複数形成し、各円柱状表面に入射した入射光線の断面がほぼ 90° 旋回して射出するようにしたことを特徴とする請求項 4 に記載の光路変換器。

【請求項 4 3】 断面が長方形をなす光学ガラス製角柱の入射面と射出面とに同じ方向にほぼ 45° 傾いた円柱状表面を複数形成して、各円柱状表面に入射した入射光線の断面がほぼ 90° 旋回して射出するようにしたことを特徴とする請求項 4 に記載の光路変換器。

【請求項 4 4】 前記光学素子が、回折により中心軸に垂直な方向にのみパワーが変化する 2 つの光学要素を対向させ、中心軸をほぼ 45° 傾けて配設したものであることを特徴とする請求項 4 に記載の光路変換器。

【請求項 4 5】 前記光学素子が、ほぼ 45° 傾いた

中心軸に対して対象に、中心軸に垂直な方向にパワーが変化するように深さを変化させた多数の溝を中心軸に沿って設けた1組のバイナリオプティクス素子からなることを特徴とする請求項44に記載の光路変換器。

【請求項46】 前記光学素子が、中心軸に沿って、中心軸に垂直な方向にのみパワーが変化するように構成された同じ断面形状を有する1組の凸型のリニアなフレネルレンズであって中心軸がほぼ45°傾いたものからなることを特徴とする請求項44に記載の光路変換器。

【請求項47】 前記フレネルレンズがラミナー型のフレネルゾーン板であることを特徴とする請求項46に記載の光路変換器。

【請求項48】 前記フレネルレンズがマスク型のフレネルゾーン板であることを特徴とする請求項46に記載の光路変換器。

【請求項49】 入射面と、該入射面と所定の距離を有した入射面と平行な出射面とを有し、前記入射面がその表面に軸が水平に対して45°傾いた複数の光学素子をリニアアレイレーザダイオードの活性層ストライプ毎に対応させて並列的に設け、前記出射面が表面に前記入射面の光学素子と対称な複数の光学素子を前記入射面の光学素子のそれぞれに対応して並列的に設けたものからなることを特徴とする請求項44に記載の光路変換器。

【請求項50】 透明の平面基板を更に備え、前記リニアに配列した光学素子を前記平面基板上に固定したことを特徴とする請求項44に記載の光路変換器。

【請求項51】 光軸に垂直な断面で第1の軸を有する断面を持った入射光線を受光する入射面と、前記断面の第1の軸をほぼ直角に旋回する光学系と、該光学系を通過した出射光線を出射する出射面とを有する複数の光学素子と、平面の入射面と凸である出射面とを備えた柱状レンズとを備え、前記光学素子の出射面をそれぞれ該柱状レンズの入射面上に隣接させ、リニアアレイレーザダイオードの放射面に対応させてリニアに配列して固定したことを特徴とする集光器と光路変換器との複合体。

【請求項52】 光軸に垂直な断面で第1の軸を有する断面を持った入射光線を受光する入射面と、該断面の第1の軸をほぼ直角に旋回する光学系と、該光学系を通過した出射光線を出射する出射面とを有する複数の光学素子と、凸である入射面と平面の出射面とを備えた柱状レンズとを備え、該光学素子の入射面をそれぞれ該柱状レンズの出射面上に隣接させ、リニアアレイレーザダイオードの放射面に対応させてリニアに配列して固定したことを特徴とする集光器と光路変換器の複合体。

【請求項53】 レーザビームを放射する第1の方向に長い複数のエミッタが該第1の方向に直線的に並ぶように設けられ、点線状のレーザビーム群を放射するリニアアレイレーザダイオードと、前記リニアアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を前記第1の方向に対してほぼ垂直

な第2方向に屈折してコリメートする第1の集光器と、前記第1の集光器の前面に配設され、前記第2の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する光路変換器と、

少なくとも1個のレーザビームの断面の軸をほぼ直角に曲げる複数の光学素子を並列して備え、前記第2の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光し、前記光学素子毎にレーザビームの断面の軸を旋回して前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群として放射する光路変換器と、

前記実質的な梯子状レーザビーム群を前記第1の方向とほぼ垂直な方向にコリメートして平行化する第2の集光器と、

前記第2の集光器から放射されるレーザビーム群を焦点に集光する第3の集光器と、励起光受光面を有し、かつ該励起光受光面が前記焦点の位置に整合された固体レーザ素子とを備えることを特徴とする半導体レーザ励起固体レーザ装置。

【請求項54】 レーザビームを放射する第1の方向に長い複数のエミッタが該第1の方向に直線的に並ぶように設けられ、点線状のレーザビーム群を放射するリニアアレイレーザダイオードと、前記リニアアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を前記第1の方向に対してほぼ垂直な第2の方向に屈折してコリメートする第1の集光器と、

前記第1の集光器の前面に配設され、前記第2の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する光路変換器と、

少なくとも1個のレーザビームの断面の軸をほぼ直角に曲げる複数の光学素子を並列して備え、前記第2の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して前記光学素子毎にレーザビームの断面の軸を旋回して前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群として放射する光路変換器と、

前記実質的な梯子状レーザビーム群を前記第1の方向とほぼ垂直な方向にコリメートして平行化する第2の集光器と、

前記第2の集光器から放射されるレーザビーム群を第1の焦点に集光する第3の集光器と、前記第1の焦点に収斂したレーザビーム群の光を伝達する光ファイバーと、

前記光ファイバーから出射する光をコリメートして第2の焦点に収斂するコリメータと、励起光受光面を有し、かつ該励起光受光面が前記第2の焦点の位置に整合された固体レーザ素子とを備えることを特徴とする半導体レーザ励起固体レーザ装置。

【請求項55】 レーザビームを放射する第1の方向

に長い複数のエミッタが該第1方向に直線的に並ぶように設けられ、点線状のレーザビーム群を放射する第1のリニアアレイレーザダイオードと、  
前記第1のリニアアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を前記第1の方向に対してほぼ垂直な第2の方向に屈折してコリメートする第1の集光器と、  
前記第1の集光器の前面に配設され、前記第2の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第1の光路変換器と、  
少なくとも1個のレーザビームの断面の軸をほぼ直角に曲げる複数の光学素子を並列して備え、前記第2の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光し前記光学素子毎にレーザビームの断面の軸を旋回して前記第1の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群として放射する第1の光路変換器と、  
前記実質的な梯子状レーザビーム群を前記第1の方向とほぼ垂直の方向にコリメートして平行化する第2の集光器と、  
レーザビームを放射する第3の方向に長い複数のエミッタが該第3方向に直線的に並ぶように設けられ、点線状のレーザビーム群を放射する第2のリニアアレイレーザダイオードと、  
前記第2のリニアアレイレーザダイオードの前面に配設され、前記レーザビーム群を前記第3の方向に対してほぼ垂直な第4の方向に屈折してコリメートする第3の集光器と、  
前記第3の集光器の前面に配設され、前記第4の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して前記第3の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群に変換して放射する第2の光路変換器と、  
少なくとも1個のレーザビームの断面の軸をほぼ直角に曲げる複数の光学素子を並列して備え、前記第4の方向にコリメートされたレーザビーム群を受光して前記光学素子毎にレーザビームの断面の軸を旋回して前記第3の方向に延びる実質的な梯子状レーザビーム群として放射する第2の光路変換器と、  
前記実質的な梯子状レーザビーム群を前記第1の方向とほぼ垂直な方向にコリメートして平行化する第4の集光器と、  
前記第2の集光器から放射されるレーザビーム群を受光する第1の入射面と、前記第4の集光器から放射されるレーザビーム群を受光する第2の入射面と、レーザビーム群が放射される出射面とを備え、前記第1の入射面で受光した第1の偏光方向を有するレーザビーム群を前記出射面に直進させ、第1の偏光方向と直交する第2の偏光方向を有する前記第4の集光器から放射されるレーザビーム群を前記第2の入射面で受光して屈折させ出射面に偏向させて両レーザビーム群を出射面から放射する偏

向ビームスプリッタと、  
前記偏向ビームスプリッタから放射されるレーザビーム群を焦点に集光する第5の集光器と、  
励起光受光面を有し、かつ該励起光受光面が前記焦点の位置に整合された固体レーザ素子とを備えることを特徴とする半導体レーザ励起固体レーザ装置。

【請求項56】 半波長板を更に備え、前記第3の集光器から放射されるレーザビーム群の偏向方向が前記レーザビーム群の偏向方向と直交するようにしたことを特徴とする請求項55に記載の半導体レーザ励起固体レーザ装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、リニアアレイレーザダイオードに用いる光路変換器、及び光路変換器を用いたレーザ装置に関するものである。本発明は更に、半導体レーザ光を微小スポットに集光する半導体レーザ集光器、半導体レーザ光で固体レーザ素子を光励起する半導体レーザ励起固体レーザ装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 レーザ加工や医用目的に使用するレーザとして、YAG (yttrium alumineergornet) が用いられてきた。しかし、固体レーザであるYAGレーザは電気→光の変換効率が低い。これは、従来型のYAGレーザは固体レーザの励起に用いられるXeランプやフラッシュランプの発光効率が低く、またその発光のスペクトル帯域も広いため、発光エネルギーのうち小さな部分しか固体レーザの励起に使用できないことによる。このため、大きな装置と、冷却水とが通常必要となる。

【0003】 一方、半導体レーザ(LD)は変換効率が高くコンパクトで冷却装置も大がかりな装置を必要としない。最近、高出力半導体レーザのコストが顕著に下がりはじめた。レーザ加工分野に於ても、このような半導体レーザを利用することが好ましい。しかしながら、半導体レーザは、そのビーム品質が一般的に悪く、しかも単一ストライプ半導体レーザの高出力化には限りがあり、レーザ加工にそのまま用いることは困難である。

【0004】 レーザ光を放射する活性層ストライプを10本～100本直線的に配列し、破線状の光源を与えるマルチストライプアレイ半導体レーザは高出力レーザとして知られている。

【0005】 半導体レーザの活性層ストライプが一次元的に配列したリニアアレイの半導体レーザとしてCW(連続発振)出力20Wのものまで入手することができる。マルチストライプアレイ半導体レーザは、例えば図1に示すように、幅が約100μm～200μmの端部がエミッタとなっているストライプ10本～数10本が全幅約1cmの平面内に一定間隔で配列している。

【0006】 このように1個の半導体レーザ素子からは10本～数10本のレーザ光が出射する破線状に線分が

直列した光源を与える。

【0007】レーザ加工や医用目的にマルチストライブアレイ半導体レーザを利用するためには狭い領域に高水準のエネルギーを集中する工夫が必要である。各ストライブ光は各々偏平な光源から発したものであり、ビーム発散角は活性層に対し垂直成分 $\phi$ が大きく約 $40^\circ \sim 50^\circ$ であり、平行成分 $\theta$ は小さく約 $10^\circ$ である。発光源の幅は垂直成分が狭く $1\mu\text{m}$ 以下であり、平行成分は広く上述のように $100\mu\text{m} \sim 200\mu\text{m}$ である。

【0008】以上のような半導体レーザの特性から、半導体レーザからの出射光をレンズを用いて集光して絞り込む場合、垂直成分は容易に絞ることができるが、平行成分は光源の全幅が広く発散角が垂直成分より狭いため、微小スポットに絞ることが困難である。

【0009】D. C. Shannon et. alがOpt Lett., 16, 318 (1991)でこのようなアレイ半導体レーザを非球面レンズを用いて一括して絞り込み、固体レーザを励起する装置を開示している。しかし、当ファイバのカップリング損失が大きく、またLD光の平行成分については数mm程度にしか絞ることができないため、逆に固体レーザ共振器の法を歪ませて励起空間にマッチングさせる等の工夫が必要である。

【0010】一方、図2に示すように、ストライブに対して1対1にマイクロレンズを対応させて配列し、各々のストライブ光を集光しコリメートした後、集束レンズで絞り複数ビームを重畳させる方法により比較的効率よく集束可能としたことが山口外により、特願平4-078179号公報（本願と同一出願人による米国特許出願第07/828,347号に対応する）に開示されている。しかしながら、絞り込んだビームスポット径は集束レンズとビームスポットとの間の距離（つまり集束レンズの焦点距離 $f_2$ ）と半導体レーザストライブとマイクロレンズ間距離（つまりマイクロレンズの焦点距離 $f_1$ ）の比で決まる倍率（ $f_2/f_1$ ）を光源の幅に掛けた値になる。従って、ビームスポットの長径 $\omega_1$ （水平部分）はストライブの幅（ $\omega_0: 100\mu\text{m} \sim 200\mu\text{m}$ ）に上記倍率を掛けた値（ $\omega_0 f_2/f_1$ ）となる。垂直成分は光源の幅が非常に小さい（ $1\text{nm}$ 以下）ので同じ倍率（ $f_2/f_1$ ）を掛けても大きなスポット径にはならない。従って、ストライブの幅方向の集束を考えるとビームスポットを小さくして光の強度を大きくするためにマイクロレンズはストライブからなるべく離して配置した方がよい。しかし、ストライブ光の垂直成分の発散角が大きいためレンズ開口外に漏れる放射エネルギーが大きくなることを考えるとこれは難しい。そこで、垂直成分と水平成分とを別々のシリンドリカルレンズで集光し、垂直成分と水平成分を別々のシリンドリカルレンズで集光し、垂直成分集光用のレンズはストライブから至近距離に、平行成分集光用の各ストライブに1対1で対

応するマイクロシリンドリカルレンズは離して配置することが考えられる。

【0011】市販されている代表的なLDストライブとして、厚さ $1\mu\text{m}$ 、幅 $200\mu\text{m}$ のもの12本がピッチ $800\mu\text{m}$ で配列したものがある。ストライブ光の平行成分はビーム発散角 $10^\circ$ を有するので、ストライブの出射端から約3.4mmのところで隣同士のストライブ光が重なり合う。その重合の後にレンズを置いたときは、一部の光はレンズの軸と角度を持つ光線となり、フォーカシングレンズの焦点と異なる点に集束するため、システムの効率を低下させる。このため、マイクロシリンドリカルレンズアレイを用いて各ストライブ光を各々コリメートするためには、3.4mm以内の接近した位置にレンズ（焦点距離 $f_1 \leq 3.4\text{mm}$ ）を置く必要がある。コリメート光を集束する集束レンズの焦点距離 $F_2$ との組合せで決まる倍率（ $f_2/f_1$ ）をストライブの幅に掛けて集束スポット径を求めると大きくならざるを得ない。

【0012】このように従来、破線状に出射するリニアアレイLDの出射レーザ光を小さい面積に高密度に集中させることは困難であった。

【0013】また、半導体レーザ励起固体レーザに於ける固体レーザの光軸方向から光励起する端面励起方式によると、固体レーザ発振のモード空間に半導体レーザ出力光による励起空間をマッチングさせることによって高効率な単一基本横モード発振を実現し得る。

【0014】半導体レーザの活性層を一次元的に配列したマルチストライブアレイ半導体レーザ発生素子は、10W以上の出力が得られ、レーザマイクロ加工用として十分に使用できる出力を有している。このマルチストライブレーザ光を光学系を用いて直接集光し、十分に細いスポットに絞ることができれば、半導体レーザ出力をレーザ加工に用いることができるはずである。

【0015】ところが、マルチストライブアレイ半導体レーザ発生素子は、上述の通り半導体レーザ発生素子からの出射光をレンズを用いて集光して絞り込む場合、垂直成分は容易に絞る得るが、平行成分は光源の全幅が広いために微小スポットに絞ることが困難である。

【0016】このようなアレイ半導体レーザを励起光源として用いようとすると、上記したようにアレイの幅は長さ1cm程に亘るので、通常のレンズ系を用いて複数ビームを1つのスポット状に絞り込めず、励起効率の良い端面励起方式が採用できないことから側面励起方式にしか適用できなかった。

【0017】

【発明が解決しようとする課題】上述した問題に鑑み、本発明の目的は、リニアアレイ半導体レーザを用いた半導体レーザ装置の焦点に於けるエネルギー密度を高くした半導体レーザ装置を提供することにある。

【0018】本発明の別の目的は、リニアアレイ半導体レーザを用いた半導体レーザ装置に用いて、半導体レー



ザ装置の焦点を極めて小さくしてエネルギー密度を高くすることを可能にするための新規な光路変換器を提供することにある。

【0019】本発明の更に別の目的は、上記半導体レーザ装置を用いた、強力な半導体レーザ励起固体レーザ装置を提供することにある。

【0020】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、本発明に係る半導体レーザ装置は、レーザビームを放射する細長いエミッタが複数、その長軸方向に直線的に並んだリニアアレイレーザダイオードと、各エミッタ、若しくは複数のエミッタからなるエミッタ群から放射されたレーザビームをエミッタの長軸方向に対して垂直の方向に平行化（コリメート）する第1のコリメート素子と、1方向にのみ平行化されたレーザビームの各々のエミッタ長軸方向をほぼ直角に旋回して出力する光路変換器と、光路変換器から出力されるレーザビームを前記エミッタ長軸に対応する方向に平行化する第2のコリメート素子と、2方向に平行化されたレーザビームを焦点に集光するフォーカシング素子とを備えることを特徴とする。

【0021】上記別の目的を達成するため、本発明の光路変換器は、スリット状に放射される光線を受光して該光線の断面中の該スリットの方向を光軸に沿ってほぼ直角に旋回させて出射する光学素子を、複数、各光学素子の受光面と出射面をそれぞれ隣接してリニアに配列し、リニアアレイレーザダイオードの放射面に対応させたことを特徴とする。即ち、本発明の光路変換器は、リニアアレイ半導体レーザのライン状をした各エミッタ、若しくは各エミッタ群から放射されるレーザビームのエミッタに対応する方向を光軸に沿ってほぼ直角に旋回させるように構成されている。

【0022】更に、上記更に別の目的を達成するため、本発明の半導体レーザ励起固体レーザ装置は、上記の半導体レーザ装置から出力される該レーザビームの焦点に固体レーザ装置の励起光を入射させる端面を配置した。

【0023】

【作用】リニアアレイレーザダイオードの点線状に配列された細長いエミッタからのレーザビームは、エミッタの長手方向に放射角が小さく、垂直な方向に放射角が大きいため、両方向について異なる収束力を与えなければ小さい領域にエネルギーを集中することができない。また、上に述べたように幅方向の放射角が小さい上、リニアアレイレーザダイオードから放射されるレーザビームの全体幅はリニアアレイレーザダイオードの幅に対応して大きいので、小さい領域にエネルギーを集中することが困難である。ところが、本発明の半導体レーザ装置は、リニアアレイレーザダイオードの点線状に配列された細長いエミッタからのレーザビームを第1のコリメート素子で受光してエミッタに垂直な方向に屈折してエミ

ッタに垂直な断面についてほぼ平行な光線にし、これを上記光路変換器に入力してレーザビームの方向を変えたと共にそのエミッタ軸に対応する方向をほぼ直角まで旋回させ、この光線を第2のコリメート素子でエミッタ軸と垂直な方向に異なる収束力で屈折して、異方的に放射したレーザビームをほぼ平行光線に変化させてから、フォーカシング素子で1点に収束させる。このため本発明の半導体レーザ装置は、リニアアレイレーザダイオードが発生するレーザエネルギーは極めて小さな面積に収束させることができることから、十分にレーザ加工や医療用に用いることができる。

【0024】本発明の光路変換器をリニアアレイ半導体レーザの前面に設置すると、各光学素子がリニアアレイ半導体レーザのライン状をした各エミッタ、或いは複数のエミッタからなるエミッタ群から放射されるレーザビームを受光して、そのレーザレーザビームのエミッタ長軸に対応する方向を、光軸に沿ってほぼ直角に旋回させる。従って、該光路変換器から出力されるレーザビームはエミッタ長軸大方向が直角に旋回した各光学素子毎の部分的なビームが光学素子の数だけ並列的に梯子状に並ぶことになり、リニアアレイ半導体レーザのエミッタを梯子状に配列したと実質的に同じように扱うことができる。エミッタの垂直方向にフォーカシングすることは容易であり、かつ平行に梯子状に並んだエミッタからの光線を極めて狭い領域に収束させることも容易であるので、本発明の光路変換器を使用してリニアアレイ半導体レーザのエミッタを実質的に梯子状に配列する効果をもたらした半導体レーザ装置は極めて小さい焦点にリニアアレイ半導体レーザのエネルギーを集中することが可能になる。

【0025】また、上記集中させたレーザ光を固体レーザに励起光として入射する本発明の半導体レーザ励起固体レーザ装置は強力な半導体レーザを活用した端面励起が可能となり効率が高くビームの質が良い固体レーザ出力を得ることができる。

【0026】

【実施例】本発明の実施例を図を用いて以下に説明する。

【0027】（実施例1）図3は、本発明の半導体レーザ装置の平面図、図4はその立面図である。

【0028】マルチストライプアレイ半導体レーザ10は、一般的に入手できるもので幅約10mmの間にレーザビームを放射する10個～100個（例えば12個、図では便宜上6個表示される）の活性層ストライプ12を一行に配列したものである。各活性層ストライプ12の断面は、例えば幅100 $\mu$ m～200 $\mu$ m、厚み0.1 $\mu$ m～1 $\mu$ mで、活性層ストライプの端面から放射されるレーザ光は厚み方向の放射角が40°～50°、幅方向の放射角が約10°で、マルチストライプアレイ半導体レーザ10の発光源となっている。活性層ストライプ

はマルチストライプアレイ半導体レーザ10の端部に一列に並んでいるため、半導体レーザの発光は一列の点線状になっている。

【0029】第1の柱状レンズ20がマルチストライプアレイ半導体レーザ10が放射されるレーザ光を活性層ストライプの厚み方向に収束力を有し、活性層ストライプに垂直な成分の発散光を平行光にする。第1の柱状レンズ20は幅方向には等しい厚みを有して光はほぼ直進するため、レーザビームの幅方向の放射角は約 $10^\circ$ と変わらない。

【0030】光路変換器30が、第1柱状レンズ20から出力されるレーザビームの断面を入射光に対してほぼ $90^\circ$ 回転させる。光路変換器30はマルチストライプアレイ半導体レーザ10の各活性層ストライプ12に1対1に対応する光学素子を各活性層ストライプに対応するように直線的に配列したものである。第1の柱状レンズ20によって幅方向に約 $10^\circ$ の角をもって放散し厚み方向に平行光となったレーザビーム（図3参照）は、光路変換器30によって、各活性層ストライプ毎に約 $90^\circ$ 回転させられるので、幅方向に放射角約 $10^\circ$ 、厚み方向に平行な光に変換される（図4参照）。尚、上記光学素子は複数の活性層ストライプを含むストライプ群に対応するようにしたものであっても良い。

【0031】このように約 $90^\circ$ 光路変換器変換されたレーザビームが活性層ストライプ、若しくはストライプ群の数だけ平行に並ぶので、マルチストライプアレイ半導体レーザ10の放射光は活性層ストライプが梯子状に並列したと実質的に同じものとなる。

【0032】第2の柱状レンズ40がマルチストライプアレイ半導体10の幅方向に平行に設けられている。マルチストライプアレイ半導体レーザ10から放射され第1の柱状レンズ20と光路変換器30を通過したレーザ光は、活性層ストライプ毎に活性層ストライプに垂直な成分が平行光、幅方向の放射角は約 $10^\circ$ になっているがこれらが梯子状に並んでいるから、レーザビーム全体は半導体レーザの発光面軸に沿った方向に於ける放射角が約 $10^\circ$ 程度となる。第2の柱状レンズ40はこのレーザ光を受容して幅方向について平行光にするため、レーザ光はいずれの方向についても平行な光になる。

【0033】集束レンズ50が第2の柱状レンズを通過して完全な平行光となったレーザビームを小さなビームスポットに収束する。

【0034】ここで、第1の柱状レンズ20の焦点距離を $f_1$ 、第2の柱状レンズ40の焦点距離を $f_3$ 、集束レンズ50の焦点距離を $f_2$ 、活性層ストライプの幅を $\omega_0$ 、厚みを $d_0$ とすると、一つの活性層ストライプからのレーザのビームスポットの幅 $\omega_1$ 、厚み $d_1$ は、次のようにして求められる。

$$【0035】 d_1 = d_0 \cdot f_2 / f_1$$

$$\omega_1 = \omega_0 \cdot f_2 / f_3$$

従って、鋭いスポットを得るためには $f_1$ 及び $f_3$ は大きいほど良い。ここで $\omega_0$ が $100\mu\text{m} \sim 200\mu\text{m}$ 、 $d_0$ が $0.1\mu\text{m} \sim 1\mu\text{m}$ であることを考慮すれば $f_1$ の大きさは $f_3$ と比較して問題にならない。 $\omega_0$ が $200\mu\text{m}$ 、ピッチが $800\mu\text{m}$ 、活性層ストライプ長軸方向の放射角 $10^\circ$ の例では、隣のストライプからのレーザはストライプ表面から $3.4\text{mm}$ の距離で長軸方向に重なる。従って、本発明の光路変換器を使用しないときは、出力エネルギーを効率良く利用するためには、第1及び第2の柱状レンズは共にストライプ表面から $3.4\text{mm}$ 以下の距離に設ける必要があり、レーザビームを平行化するためには、 $f_1$ と $f_3$ とは最長でも $3.4\text{mm}$ でなければならないことになる。しかし、 $f_1$ が $3.4\text{mm}$ 以下の適当な値を持つ第1の柱状レンズをストライプ表面から $3.4\text{mm}$ 以下の距離に置き、本発明の光路変換器でレーザビームを回転させると、各活性層ストライプに対応するレーザの並列する方法については平行光となり相互に重畳することがない。そして、図4の紙面に平行な方向に約 $10^\circ$ の広がりを持つようになる。この放射光を第2の柱状レンズで平行光にするためには焦点距離 $f_3$ を十分大きな値に取ることができる。即ち $f_3$ は $3.4\text{mm}$ に制約されることなく適当な値を選択することができ、例えば収束レンズの焦点距離 $f_2$ と同じ値を選んだときはビームスポットの幅 $\omega_1$ は $200\mu\text{m}$ となる。このように、本発明のレーザ装置によればビームスポットの幅 $\omega_1$ と厚み $d_1$ を十分小さな値にすることが可能になり、リニアアレイレーザダイオードの出力を効率的に利用した強力なレーザを得ることができる。従って、本発明のレーザ装置はレーザ加工やレーザメス等として医療用に用いることができる。

【0036】図5は、リニアアレイレーザダイオードとして発光部分の密度が高い疑似連続発振レーザダイオードQCWLD等を用いる場合の本発明の半導体レーザ装置の平面図である。リニアアレイレーザダイオード10には多数の活性層ストライプ12が高密度に設けられていて、実質的に区切りのない直線状発光部を形成している。光路変換器30は、活性層ストライプのサイズと関係なく、或いは所定数のストライプに対応する寸法を有する光学素子を適当数直線的に配列したものである。第1柱状レンズ20、光路変換器30、第2柱状レンズ40、集束レンズ50の位置や作用は図3に説明したものと同じである。このように活性層ストライプの幅が短いかその間隔が狭いレーザダイオードを用いるときには、光路変換器の光学素子を活性層ストライプと1対1に対応させると光路変換器の製作が困難になる。本態様は、その代わりに適当な数の活性層ストライプを群にまとめてこれに対応させたものである。また、レーザダイオードの発光部を点線状と見る代わりに1本のストライプと見なして、これを光学素子で適当に区分して巡回させて実質的に梯子状に発光するレーザダイオードに変化させ

たものと考えられることもできる。

【0037】図6は、光ファイバ60を用いた本発明に係るレーザ装置の平面図、図7はその立面図である。上記レーザ装置が形成するレーザスポットの位置に光ファイバ60の受光面を配置し、レーザ10から放射されるレーザエネルギーを受容して光ファイバ60の他端面側に伝達するようにしたものである。光ファイバ60の長さや可撓性により簡単に、目的の場所に発光部を持ち込んで作業ができるような、使いやすいレーザ装置を得ることができる。尚、10Wの出力を有するリニアアレイレーザダイオード10を光源とし、コア径400 $\mu$ mの光ファイバ60の入射面上に、コアの断面より小さいレーザスポットを形成するように構成したレーザ装置は60%の効率を達成している。

【0038】（実施例2）図8は本発明の光路変換器を説明するブロック図、図9は光の構成要素としての光学素子の機能を説明するブロック図である。光路変換器30は、図8にあるように長手方向に光学素子32を適当な数だけ連結して横長に形成されている。光路変換器の長さはリニアアレイレーザダイオードの発光面に対応させる。光学素子32は、図9にあるように光路変換器の長手方向に活性層ストライプの軸方向を有するレーザビーム37を面に垂直に受光する受光面34と、光学素子内部で光軸に沿って光路を捻る処理を受けて光路を変換されたレーザビーム38を面から垂直に出力する出力面36とを有する。光学素子32は、例えば繰り返し間隔800 $\mu$ mで並んでいる活性層ストライプから放射される水平にストライプ長軸方向を有するレーザビーム37を受容し、受容したレーザビームの断面の向きをほぼ90°旋回してストライプ軸方向が垂直になるような変換をする。受光面と出力面との角度関係は任意であって良いが、両面が平行になっていて入射光の光軸方向を維持したまま出力されることが装置の設計上最も好ましい。また、受光面と出力面とが平行でない場合に入射方向に対して一定の角度を有する出射光を更に反射して光軸の方向を変換し、装置の構造上好ましい方向に向けることは容易である。

【0039】光路変換器30に用いる光学素子32は、一般には光路変換器を組み込むレーザ装置に使用するリニアアレイレーザダイオード10の活性層ストライプ12に1対1で対応するようにする。従って、例えば繰り返し間隔800 $\mu$ mで活性層ストライプが12個並ぶリニアアレイレーザダイオードを使用する場合には、光路変換器は、繰り返し間隔800 $\mu$ mで光学素子を12個並べたものとなる。

【0040】しかし、図5に示した実施例にあるように活性層ストライプが高密度に並んでいる場合には、レーザビームを1本の連続線から放射されたものと見なし、光路変換器に受光するレーザを適当な間隔で区切ってその部分毎に約90°レーザビームを旋回して用いる

ことにより、実質的にその間隔を幅として有する梯子状発光部をもったリニアアレイレーザダイオードとして扱うことができる。このような目的には、活性層ストライプの数によらず、適当数の光学素子を並列配置すれば足りる。

【0041】リニアアレイレーザダイオードの放射面が平面であることに対応して光路変換器30の入射面34と出射面36とは光路変換器の全体に亘ってそれぞれ1つの平面上にあるように配置することがレーザ装置の構造上好都合である。尚、1つの入射光に対して光学素子の中で2つの光路に分割して2つの出射面から放射するようにすることが可能であるが、この場合にも出射面のそれぞれについて1つの平面上にあるように配置する。

【0042】上記光学素子32は、いろいろな原理に基づいて形成することができる。

【0043】図10は、2枚の反射面の組合せで光路変換をする場合の原理を説明する図面である。入射光が垂直に入射する入射面と出射光が垂直に出射する出射面とを有する光学素子の内部に、単位ベクトルN1を有する第1の反射面 $\sigma 1$ 、と単位法線ベクトルN2を有する第2の反射面 $\sigma 2$ が設けられている。光軸の単位ベクトルA、レーザダイオードの長軸方向を表す単位ベクトルA<sub>p</sub>を有する入射光は第1の反射面 $\sigma 1$ に入射し、この面で反射して光軸の単位ベクトルB、レーザダイオードの長軸方向を表す単位ベクトルB<sub>p</sub>を有する反射光となり、続いて第2の反射面 $\sigma 2$ に入射し、この面で反射して光軸の単位ベクトルC、レーザダイオードの長軸方向を表す単位ベクトルC<sub>p</sub>を有する出射光となって、光学素子から出力される。2枚の反射面の角度を所定の関係が成立するように設置することにより、入射光Aを2枚の反射面で2回反射して光軸の方向を角度 $\theta$ だけ変化させると共に、レーザビームのレーザダイオードの長軸に対応する方向を光軸の回りに旋回させて入射したときと比較して約90°変わるようにする。

【0044】図11は、反射面に於ける反射の条件を説明する図面である。図11から、入射光Aが法線N1の反射面 $\sigma 1$ で反射して反射光Bとなると、これらの間に成立する関係は、

$$B = A - 2(A \cdot N1)N1 \quad \dots (1)$$

であることは明らかである。ここでA・Nは単位ベクトルAと単位ベクトルNの内積を示す。また、反射光Bが法線N2の反射面 $\sigma 2$ で反射して出射光Cとなると、これらの間に成立する関係は、

$$C = B - 2(B \cdot N2)N2 \quad \dots (2)$$

であることも明らかである。また、同様の関係がA<sub>p</sub>、B<sub>p</sub>、C<sub>p</sub>の間にも成立する。即ち、

$$B_p = A_p - 2(A_p \cdot N1)N1 \quad \dots (3)$$

$$C_p = B_p - 2(B_p \cdot N2)N2 \quad \dots (4)$$

また、入射光の光軸とレーザダイオードの長軸は直交するから、

$$A \cdot A_p = 0 \quad \dots (5)$$

入射光Aと出射光Cとのなす角を $\theta$ とすると、

$$A \cdot C = \cos \theta \quad \dots (6)$$

更に、入射光のレーザダイオード長軸方向に対応する単

$$\begin{aligned} & (N1 \cdot A)^2 + (N2 \cdot A)^2 - 2(N1 \cdot A)(N2 \cdot A)(N1 \cdot N2) \\ & = (1 - \cos \theta) / 2 \end{aligned}$$

(3)、(4)、(7) から、

$$\begin{aligned} & (N1 \cdot A_p)^2 + (N2 \cdot A_p)^2 - 2(N1 \cdot A_p)(N2 \cdot A_p)(N1 \cdot N2) \\ & = 1 / 2 \end{aligned} \quad \dots (9)$$

が成立しなければならない。

【0045】尚、入射光は入射面に垂直に入射するから、入射面の法線ベクトルはAとなり、また出射光は出射面から垂直に出射するから、出射面の法線ベクトルはCとなる。従って、本発明の光路変換器入射面と出射面と入射光との間には式(5)、(8)、(9)により規制されることとなる。

【0046】尚、光路変換器が2枚の反射面で画定した空間からなる場合には、入射面と出射面とは実体のない単なる仮想面となる。

【0047】3枚以上の反射面の組合せで構成する光路変換器では、反射面の自由度が大きいため上記のような比較的簡単な関係式で表現することは困難である。

【0048】例えば、3枚の反射面の場合の式(8)と式(9)の類似の式として、

$$\begin{aligned} & (A \cdot N1)^2 + (A \cdot N2)^2 + (A \cdot N3)^2 \\ & - 2(A \cdot N1)(N1 \cdot N2)(N2 \cdot A) \\ & - 2(A \cdot N2)(N2 \cdot N3)(N3 \cdot A) \\ & - 2(A \cdot N3)(N3 \cdot N1)(N1 \cdot A) \\ & + 4(A \cdot N1)(N1 \cdot N2)(N2 \cdot N3)(N3 \cdot A) \\ & = (1 - \cos \theta) / 2 \quad \dots (8)' \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & (A_p \cdot N1)^2 + (A_p \cdot N2)^2 + (A_p \cdot N3)^2 \\ & - 2(A_p \cdot N1)(N1 \cdot N2)(N2 \cdot A_p) \\ & - 2(A_p \cdot N2)(N3 \cdot N1)(N1 \cdot A_p) \\ & - 2(A_p \cdot N3)(N3 \cdot N1)(N1 \cdot A_p) \\ & + 4(A_p \cdot N1)(N1 \cdot N2)(N2 \cdot N3)(N3 \cdot A_p) \\ & = 1 / 2 \quad \dots (9)' \end{aligned}$$

と表される。

【0049】しかし、より実際的な方法として次のように考えると良い。つまり、初めの2枚の反射面によって入射光線を2回反射させた反射光線は、上記関係式

(8)に基づいて初めの入射光線に対して光軸が角度 $\theta$ だけ異なっている。従って、第3の反射面をこの角度 $\theta$ との関係で定まる適当な向きに設置すると、上記反射光線はこの第3の反射面で反射して入射光線と同じ方向に出射するようにできる。このとき、出射される光線のレーザビームの活性層ストライプに対応する方向が入射光のものに対して90°旋回するように反射面の位置と姿勢を決めるように構成する。このような光学素子を多数集積して構成した光路変換器は、リニアアレイレーザダイオードの活性層ストライプを実質的に梯子状に分布さ

位ベクトル $A_p$ と出射光のもの $C_p$ とが直交関係にあることが本発明の光路変換器の条件であるから、

$$A_p \cdot C_p = 0 \quad \dots (7)$$

(1)、(2)、(6) から、

$$\dots (8)$$

せるのと同じになり本発明の目的を達成することができる。このようにして3枚の反射面の組合せで構成する光路変換器の代表的なものを得ることができる。

【0050】光路変換器はプリズムで構成することができる。この場合、上記反射面はプリズムの内部反射面に対応することになる。プリズムで構成される光路変換器のうちで最も簡単なものとして、光学素子が三角錐であるものがある。図12は、反射面を2枚持った最も単純な三角錐の形状をした光学素子を示す斜視図である。

【0051】図12の三角錐プリズムABCDは立方体ABECDEFG内の太線で表される。即ち光学素子は入射面ABC、出射面ACD、第1の反射面ABD、第2の反射面BCDで画定された三角錐プリズムである。入射面ABCは、立方体の前面ABECの一部であって、法線が入射光線の光軸と平行に、即ち入射光線と直交するように配置される。第1の反射面ABDは立方体を2分する面ABGDの一部で構成され、面は鉛直でかつ入射光の光軸に対して45°斜交している。第2の反射面BCDは立方体を2分する別の面BCDFの一部で構成され、面は水平面に対して45°傾斜しかつ入射光の光軸に平行になっている。出射面ACDは立方体上面ACDEの一部である。

【0052】入射光線はリニアアレイレーザダイオードの1つの活性層ストライプから放射されたレーザビームであり、水平方向が活性層ストライプの方向に対応する。入射光線は入射面ABCに垂直に照射し、放射エネルギーのほぼ全量が入射面を通過し、次いで第1の反射面ABDに入射する。第1の反射面は鉛直で、入射光線に対して45°の傾きを有するので、入射光線の光軸は水平を保持したまま、光学素子の入射面に平行に伝搬して第2の反射面BCDに入射する。第2の反射面は水平方向に対して45°傾斜しているので、上記入射光線は第2の反射面で反射して鉛直上方に進む。第2の反射面で反射した反射光線は射出面ACDに垂直に入射するので方向を変えることなく出射して垂直上方に進む。

【0053】このとき、入射光線の活性層ストライプに対応する方向は、第1の反射面で光軸に対し反対方向に変化するが同じ水平面内に収まっている。反射光線が第2の反射面で反射するときに活性層ストライプに対応する方向は90°変化して、鉛直面内にあるようになる。

【0054】三角錐プリズムABCDの形状を更に詳し

く述べれば、三角形ABCと三角形CDAは直角二等辺三角形であり、辺AB、AC、CDは長さが等しく、角BAC及び角DCAは直角である。面ABCと面CDAは直交しており、面ABCと面ABDのなす角、面CDAと面CDBのなす角は $45^\circ$ である。光の入射面は面ABCであり、出射面が面CDAである。図8に示す通り、面ABCに入射した光線は面ABD続いて面CDBで全反射し、面CDAから出射する。即ち、線状光線から出射した光線が面ABCに入射するのを線分 $\alpha 1\beta 2$ とすると、面ABDの線分 $\alpha 2\beta 2$ 、面CDBの線分 $\alpha 3\beta 3$ で全反射し、面CDAの線分 $\alpha 4\beta 4$ となって出射する。

【0055】半導体レーザ活性層ストライプが一次元的に配列したマルチストライプアレイ半導体レーザは、通常、幅が約 $100\mu\text{m}$ ～ $200\mu\text{m}$ のストライプ10本～100本が全幅約1cmの平面内に一定間隔で配列している。従って、1つの半導体レーザ素子から10本～100本のレーザ光が出射する点線状の光源を与える。各ストライプ光は各々偏平な光源から発したものであり、ビーム放射角は活性層に対し垂直成分が大きく約 $40^\circ$ ～ $50^\circ$ であり、水平成分は小さく約 $10^\circ$ である。発光源の幅は垂直成分が狭く $0.1\mu\text{m}$ ～ $1\mu\text{m}$ であり、水平成分は広く上述のように $100\mu\text{m}$ ～ $200\mu\text{m}$ である。このため、半導体レーザからの出射光をレンズを用いて集光し、絞り込む場合、垂直成分は容易に絞ることができるが、水平成分は光源の全幅が広いため微小スポットに絞ることが困難である。このため、ストライプに対して1対1でマイクロレンズを対応させて配列し各々のストライプ光を集光しコリメートした後レンズで絞ることが考えられるが、絞り込んだビームスポット径はマイクロレンズ～ビームスポット間距離とストライプ～マイクロレンズ間距離との比で決まる倍率をストライプの幅に掛けたスポット径となる。

【0056】このため、マイクロレンズはストライプからなるべく離して配置した方が良いが、ストライプ光の垂直成分の放射角が大きいくことを考えるとこれは難しい。そこで、垂直成分と水平成分とを別々のレンズで集光し、垂直成分集光用のレンズはストライプから至近距離に、水平成分の集光用のレンズは離して配置することが考えられるが、水平成分についても $10^\circ$ という放射角があるためにある一定の距離以上では隣同士のストライプ光が重なってしまうことから離す距離には限りがある。

【0057】活性層ストライプから遠いところで集光するためには、ストライプ光同士が重ならない工夫が必要である。

【0058】そこで、隣通しのストライプ光が重ならないようにするために、破線状に配列したストライプを各々 $90^\circ$ 回転し、恰も梯子状に配列しているかのようにプリズムを用いて変換する。即ち、図12のようなプリズムを各ストライプに1対1で対応させ配列する。スト

ライプ光 $\alpha 1\beta 2$ はプリズム内での2回の全反射で $\alpha 4\beta 4$ のように変換される。つまり、ストライプが多数ある場合、その配列は見かけ上梯子上に変換される。活性層に対してストライプ光の垂直成分はストライプに至近距離に配置したシリンドリカルレンズや円柱レンズ20を用いて集光し、水平成分は三角錐プリズムからの出射光を直角プリズムにより反射してその光軸を半導体レーザの光軸と平行にした後直角プリズムからの出射光を集光するようにシリンドリカルレンズ40を配置すればストライプ～シリンドリカルレンズ間の光学距離を長く取っても隣同士のストライプ光が重なることもない。こうして、フォーカシングレンズ～ビームスポット間距離とストライプ～シリンドリカルレンズ間距離との比を小さくとれるので径の小さい集光されたビームスポットが得られる。尚、垂直成分については、フォーカシングレンズ～ビームスポット間距離とストライプ～シリンドリカルレンズ間距離との比が大きくなるものの、光源の量が小さいために絞られたビームスポットは大きくならない。

【0059】図13は、図12の光学素子を適当数、好ましくはリニアアレイレーザダイオードの活性層ストライプと同じ数、隣接して並行配置した光路変換器の斜視図である。光学素子は入射面ABC同士、及び出射面ACD同士がそれぞれ同じ平面になるように配置されている。光学素子同士の間隔は、リニアアレイレーザダイオードに於ける活性層ストライプの間隔と同じにされていて、各光学素子がそれぞれ活性層ストライプと1対1に対応するように配置されている。

【0060】リニアアレイレーザダイオードの発光面に対応して設置された光路変換器により、各活性層ストライプから放射されるレーザビームは相互の間隔を変えず、その姿勢が水平から鉛直に変えられる。従って、光路変換器により処理されてその上面から放射されるレーザビームは丁度梯子状に活性層ストライプが並んだリニアアレイレーザダイオードから放射されると等価になっている。

【0061】しかしながら、光軸はLDからの出射時に比べて $90^\circ$ だけ向きを変えるため、取扱いが難しくなる。変換光は同一方向を向いている方が望ましい。このためには、プリズムアレイからの出射光を直角プリズムを用いてさらに直角に反射すれば良い。図14は、図13のプリズムアレイの出射面に断面が直角二等辺三角形である直角プリズム33を接合した光路変換器を示す。この光路変換器により得られるレーザビームは実質的に梯子状並列であることには変わらず、従って隣同士のストライプ光が重なることもない。この方法により元の光軸を平行移動した光軸が得られる。

【0062】図15は、図12の光学素子ABCDの頂点Aの部分の底面BCDと平行な面で切った形をした三角錐台の光学素子を示す図である。図16は図15の光学素子を並列配置して得る光路変換器を示す図、図17

はこれにさらに直角プリズム33を付加した光路変換器を示す図である。

【0063】図12の三角錐プリズムを配列した図13、図14のような光路変換器を用いると、うまくプリズムに入射した光線は変換することができるが、プリズムから外れたLD光は変換することができない。そこで、三角錐ABCDの第2の反射面BCDと平行な面で切った三角錐台BCDHIJを光学素子として、底面BCDと隣の光学素子の頂面HIJを密着させて並列配置すれば(図16)、プリズム間の隙間を埋めることができ、無駄なくLD光を取り込むことができる。

【0064】図16の光路変換器では出射光線の光軸の方向が入射光線のもとと直交しているため、レーザ装置全体を構成するには便利でない。図17の光路変換器では、出射光線の光軸の方向が入射光線のもとと同じであるため、レーザ装置全体の構成が簡単になる利点がある。このことは、図14の光路変換器が図13の光路変換器に対して有利であることと同じである。

【0065】図18は、図14あるいは図17の光学素子と同じ3個の反射面を有する斜角柱プリズムを示す図面である。即ち、この斜角柱プリズムは、図19に示す直角プリズム3個の組合せに於ける各斜面が反射面となるようなプリズムであって、複数のプリズムを連続配列することが可能な形状をしている。第19図に於て、第1の反射面 $\sigma 1$ は、水平に入射する入射光線に対して鉛直線を軸として $45^\circ$ 傾いていて、入射光線を水平面上、入射面に平行になるように反射する。第2の反射面 $\sigma 2$ は、水平面に対して $45^\circ$ 傾いていて、第1の反射面 $\sigma 1$ で反射して水平に走る反射光線を鉛直上方に反射する。第3の反射面 $\sigma 3$ は、斜面が水平面に対して $45^\circ$ 傾斜していて、鉛直に入射して来る光線を水平に偏向して出射する。また、入射面は入射光線に対してほぼ垂直な面であり、出射面は入射面と平行な面である。

【0066】図18の斜角柱プリズムABCDEFGHの形状を説明するため立方体A I J K L B M Nと断面が直角2等辺三角形である三角柱B M N L Q Pとを想定する。立方体の前面A I B Lを入射面とすると、第1の反射面 $\sigma 1$ は立方体の対偶頂点を結んでできるA J M Lが相当し、第2の反射面 $\sigma 2$ は対偶頂点を結んでできる面A B M Kが相当し、また第3の反射面 $\sigma 3$ は三角柱の斜面B P Q Lが相当し、出射面は面J P Q Kが相当する。また、点Aと点Mとは面B P Q Lから等しい距離にあるから、立方体対角線AMは三角柱の斜面B P Q Lと平行である。

【0067】斜角柱プリズムABCDEFGHに於て、点Dは立方体の対角線AM上の任意の位置に、また点Eは辺AL上の任意の位置に選択される。面ADHEは第1の反射面 $\sigma 1$ に属する線分ADと線分AEとの張る平行四辺形であるから、第1の反射面 $\sigma 1$ にある。面ABCDは対角線ABと線分ADを2辺とする平行四辺形

であって第2の反射面 $\sigma 2$ 内にある。また線分BCは対角線AMと平行であるから、三角柱の斜面B P Q L内に存在し、従って、面B C G Fは第3の反射面 $\sigma 3$ 内にある。更に出射面C D H Gの各辺は入射面A B E Fの対応する辺とそれぞれ平行であるから、入射面A B E Fと平行である。また、上面E F G Hは底面A B C Dと平行である。

【0068】尚、このプリズム形状は第1の反射面 $\sigma 1$ と第2の反射面 $\sigma 2$ の交差角と第2の反射面 $\sigma 2$ と第3の反射面 $\sigma 3$ との交差角がいずれも $60^\circ$ になるため、断面が正三角形の角柱を加工して目的のプリズムを容易に得ることができる。つまり、角柱の底辺に平行に1個の稜線を裁断してできる四角柱を斜めに裁断すれば良いから、簡単な工作により精度の高いプリズムが得られる。斜角柱プリズムの入射面A B E Fは入射光線がほぼ垂直に入射するように配置される。第1の反射面ADHEは入射面A B E Fと垂直に交わり、交角はほぼ $45^\circ$ で入射光線を水平方向に偏向する。第2の反射面ABCDは水平面に対して $45^\circ$ の傾きを有するから、水平に入射する光線を垂直に偏向する。第3の反射面B C G Fは垂直面に対して $45^\circ$ 傾斜角を有するから垂直に入射する光線を水平方向に偏向する。最後にこの水平に偏向された光線が出射面C D H Gにほぼ垂直に入射して透過し、光線の光軸に垂直な断面の向きをほぼ $90^\circ$ 変換した光線として出射される。

【0069】図20は、図18の光学素子を複数並列配置して得られる光路変換器を示す図面である。必要数の光学素子を並べてその入射面と第3の反射面とがそれぞれ同じ面内に整合するようにして、光学素子の底面を隣接の光学素子の上面と接合することにより、光路変換器を構成することができる。図には説明のため入射光線の軌跡が描かれている。点線状に並んだレーザビームが光路変換器を通過することにより梯子状のレーザビームに変換する様子が見られる。

【0070】図21は、3個の反射面を有する斜角柱プリズムの別の例を示す図面である。この斜角柱プリズムも、図18に示す斜角柱プリズムと同じく直角プリズム3個の各斜面が反射面となるようなプリズムであって、複数のプリズムを連続配列することが可能な形状をしている。

【0071】図21の斜角柱プリズムABCDEFGHの形状を説明するため、立方体A I J K L M N Dと断面が直角2等辺三角形である三角柱D L M N Q Pとを想定する。立方体の前面A I L Dを入射面とすると、第1の反射面 $\sigma 1$ は面A J P Dが相当し、第2の反射面 $\sigma 2$ は面A L M Kが相当し、また第3の反射面 $\sigma 3$ は三角柱の斜面L P Q Dが相当する。立方体の対角線AMは三角柱の斜面L P Q Dと平行である。

【0072】斜角柱プリズムABCDEFGHに於て、点Bは対角線AL上、入射光線が反射するのに十分な第

2の反射面の面積を確保できるような任意の位置に選択される。点Fは点Bから対角線AMと平行に引いた線上の任意の点で、点Eは対角線AM上、頂点Aから線分BFと同じ長さを隔てた位置にある。面ABFEは第2の反射面上にある線分ABと線分AEを2辺とする平行四辺形であるから第2の反射面 $\sigma 2$ 内にある。線分AEは第1の反射面にも属する。線分EHは稜線ADと平行、線分DHは線分AEと平行である。従って、面ADHEは第1の反射面 $\sigma 1$ に属する平行四辺形であるから第2の反射面 $\sigma 2$ 内にある。線分AEは第1の反射面にも属する。線分EHは稜線ADと平行、線分DHは線分AEと平行である。従って、面ADHEは第1の反射面 $\sigma 1$ に属する平行四辺形である。点Hは第3の反射面の対角線DPの上にある。また線分BCは稜線ADと平行、線分FGは対角線AMと平行、線分FGは稜線BCと平行、線分CGは線分DHと平行であるから、面BCGFは第1の反射面と平行となる。また、点D、C、G、Hは第3の反射面に属するから、面DCGHは第3の反射面に属する。また、辺EF、FG、GH、HEはそれぞれ入射面の対応する辺に対して平行である。従って、面EFGHは入射面ABCDと平行である。

【0073】第21図の斜角柱ADHEは入射光線がほぼ垂直に入射するように配置される。第1の反射面ADHEは入射面ABCDと鉛直線で交わり、交角はほぼ $45^\circ$ で入射光線を水平方向に偏向する。第2の反射面ABFEは水平面に対して $45^\circ$ の傾きを有するから、水平に入射する光線を垂直上方に偏向する。第3の反射面DCGHは垂直に対して $45^\circ$ 傾斜角を有するから、垂直に入射する光線を水平方向に偏向する。最後にこの水平に偏向された光線が出射面EFGHにほぼ垂直に入射して透過し、光線の光軸に垂直な断面の向きをほぼ $90^\circ$ 変換した光線として出射される。

【0074】図22は、図21の光学素子を複数並列配置して得られる光路変換器を示す図面である。必要数の光学素子を並べて、その入射面と第3の反射面がそれぞれ同じ面内に整合するようにして、光学素子の底面を隣接光学素子の上面と接合することにより、光路変換器を構成することができる。図には説明のため入射光線の軌跡を描いてある。点線状に並んだレーザービームが光路変換器を通過することにより梯子状のレーザービームに変換する様子が見られる。

【0075】図23は、ユニットとしての光学素子を複数接合する代わりに角柱状の透明材料から適当な部分を切除して一体的に形成した、図22のものと等価の光路変換器30を示した図である。光路変換器は、金型を用いた大量生産が可能である。また、シリコン半導体製造プロセスを応用することにより、このように微細な構造の光路変換器を製造することが可能である。

【0076】この光路変換器30は、互いに平行な入射面34及び出射面36と、入射面34とが $135^\circ$ の挟

角Aをもって交わり、かつ出射面36と $45^\circ$ の挟角Bをもって交わる第3の反射面 $\sigma 3$ と、入射面34に対して $\tan^{-1}(1/\sqrt{2})$ の角度で交差する方向にその稜線並びに谷線が延在する折れ曲がり角が $60^\circ$ をなす山と谷とが洗濯板状に連続形成された周期的屈曲面からなり、かつ各稜線並びに各谷線が第3の反射面 $\sigma 3$ と平行する面39とを有している。図24は、図23の光路変換器を製造する方法を説明する図である。

【0077】図24に示すように、板材300は表裏両面が互いに平行をなし、その一方の面（図24に於ける上面）が折れ曲がり角（山の頂角 $\alpha 1$ 及び谷の底角 $\alpha 2$ ）がそれぞれ $60^\circ$ の三角波断面の周期的屈曲面をなす透光性材料（ガラス、石英等）からなる。光路変換器32は、この板材300から、他方の面（図24に於ける底面）とのなす角度D（またはE）が $135^\circ$ （または $45^\circ$ ）であり、かつ三角波の稜線または谷線との他方の面上でなす角度Fが $\tan^{-1}\sqrt{2}$ である平行な2平面に沿って切断することによって得られる。

【0078】次に上記実施例の光路変換原理について図25を参照して説明する。この光路変換器30は、洗濯板状の周期的屈曲面をなす第4の面39に於ける $60^\circ$ の挟角をもって対向する各谷の面のうち、入射面34と $45^\circ$ の挟角をもって交わる第1の反射面 $\sigma 1$ と、入射面34並びに出射面36と $90^\circ$ の角度をもって交わる第2の反射面 $\sigma 2$ と、これに対向する第3の反射面 $\sigma 3$ とを内部反射面とするものであり、入射光は各反射面で全反射する。

【0079】入射面34に入射した光線は、第4の面39の第1の反射面 $\sigma 1$ に続いて第2の反射面 $\sigma 2$ で反射し、更に第3の反射面 $\sigma 3$ で反射して出射面36から出射する。ここで、スリット状の線状光源から出射した偏平な光線を線分P1Q1で表すと、これが入射面34に直交する向きから入射すると、第1の反射面 $\sigma 1$ 内の線分P2Q2は、第2の反射面 $\sigma 2$ 内の線分P3Q3で反射し、更に第3の反射面 $\sigma 3$ 内の線分P4Q4で反射するので、出射面36からの出射光は、線分P5Q5で表されることとなる。つまり、本実施例により、出射光の光軸は、入射光の光軸に比べて図25に於ける上方へ平行移動してずれるものの、光線の偏平の向きを入射前に比して $90^\circ$ だけ回転させることができる。

【0080】本発明に於ては、光源からの出射時には破線状に直列したストライプ光を各々 $90^\circ$ 回転させ、あたかも梯子状に並列しているかのようにプリズム要素を用いて変換するものとしている。即ち、図25に示したプリズム要素を各ストライプ光に1対1に対応して配列すると、上記したようにストライプ光P1Q1は、その向きがP5Q5のように変換される。つまり、図26に示したように、一直線上に破線状に直列した多数のストライプ光Liは、光路変換器30により、見かけ上梯子状に並列したストライプ光Loに変換される。

【0081】上記の構成に於ては、一つのストライプ光に対して一対の反射面 $\sigma_1$ 、 $\sigma_2$ を対応させている。従って、幅寸法が小さな活性層を多数配列したものに対しては、プリズム要素として極めて小さなものを用意しなければならないことになる。しかしながら実用上は複数のストライプ光に対して一対の反射面を対応させても良い。この場合は、隣接するプリズム要素のピッチと同一幅に多数のストライプを分割し、分割した要素毎に $90^\circ$ 回転させることになるが、この場合でも、プリズム要素の幅と同程度にレーザ光を絞ることができる。

【0082】しかしながら、ストライプ光と1対1にプリズム要素を配列することがより細くレーザ光を絞る上で好ましいことは言うまでもなく、実際のところ、活性層ストライプの配列ピッチや幅が $100\mu\text{m}$ 以下になった場合でも、シリコン半導体プロセスやLIGAプロセスを用いれば、これらの活性層と1対1で対応する反射面を持つ光路変換器を製作することは可能である。

【0083】図27は、光学素子32として用いる図12の三角錐プリズムを軸対称に組み合わせた複合プリズムを示す図である。この複合プリズムは、2つの三角錐プリズムの入射面を揃え、例えばアルミニウムや銀のミラーコーティングを施して反射し易くした第2の反射面同士を接合して図24のようにしたプリズムである。複合プリズムの入射面に入射する入射光線は上側の三角錐プリズムで上側に反射して出射するか下側の三角錐プリズムで下側に反射して出射する。従って、入射光線の入射位置の許容範囲が大きく、有効に光路変換できるエネルギーが大きい。単独の三角錐プリズムを用いる場合には入射面以外の部分に照射する光のエネルギーは無効になると比較して、この複合プリズムが有利である。

【0084】図28は図27に表された複合プリズムを並列配置して得られる光路変換器を示す図である。複合プリズムの上面と下面のそれぞれは光路変換器の全長に亘る長い三角錐プリズム33が貼り合わされている。当該光路変換器で光路変換した光線（図中には簡単のため4つのビームのみ示されている）は反射鏡やプリズムにより反射されて同じ方向に指向するようにされる。

【0085】図29は光学素子32として用いるダブプリズム(dove prism)を示す図である。ダブプリズムは像回転プリズムとも言い、断面が台形をしたプリズムで、底面に平行に入射する光線が入射面で屈折し、次いで底面で反射して、最後に出射面から屈折して底面と平行に出射するように、光学ガラスの屈折率を考慮して面の角度を選択してある。ダブプリズムは、入射した像をプリズム内で回転して出射する。そこで、入射光線を底面に対して $45^\circ$ 傾けて入射させると、ビームに於ける活性層ストライプの向きはダブプリズム内で $90^\circ$ 回転して初めの向きと垂直な向きとなってもう一方の面から出射するようになる。光学素子としては像回転をする例えばペチャンプリズム(Pechan pri-

zm)等も利用することができる。

【0086】図30は図29に示されたダブプリズムを並列配置して得られる光路変換器を示す図である。ダブプリズムにレーザビームを約 $45^\circ$ 傾けて入射させるため、各ダブプリズムはそれぞれレーザビームアレイの向きに対してほぼ $45^\circ$ 傾いている。ダブプリズムそれぞれに入射したレーザビームは活性層ストライプの向きをほぼ $90^\circ$ 回転させられるため、リニアアレイレーザダイオードからのレーザビームは実質的に梯子状の集合となる。

【0087】反射面を用いる光学素子はプリズムでなくて適当に配置した反射鏡であってもよい。図31は図12のプリズムと同じ働きをする光学素子である。立方体の一部を切り欠いて、入射光線を水平面内で垂直に反射するように $45^\circ$ 傾斜させた第1の反射鏡面 $\sigma_1$ と、水平に対して $45^\circ$ 傾斜し、第1の反射鏡面で $\sigma_1$ 反射した光線を垂直上方に反射する第2の反射鏡面 $\sigma_2$ とを形成する。第1の反射鏡面 $\sigma_1$ と第2の反射鏡面 $\sigma_2$ とは $60^\circ$ の交角をもって交わる。材料として、金属、金属メッキしたガラス、プラスチック、シリコン等が利用できる。

【0088】図32は、図31の光学素子をリニアアレイレーザダイオードの活性層ストライプに対応するように配列したミラーアレイとして構成される光路変換器を示す図である。活性層ストライプから照射されるレーザビームはその向きが $90^\circ$ 偏光すると共にストライプに対応する方向が $90^\circ$ 変化して、リニアアレイレーザダイオードのレーザビームは実質上梯子状配列を有するようになる。リニアアレイレーザダイオードの活性層ストライプに対応するような微細な光学素子は、精密金型による製造或いは例えばシリコン半導体製造プロセスやLIGAプロセスを応用することにより製造可能である。シリコン結晶を利用する場合には、その壁開面を反射鏡面とすると加工も容易になる。また、光学素子を接合させる代わりに角柱の1つの稜をシリコン半導体プロセス等を利用して切除して図32のような光路変換器を形成することも可能である。この場合は、堅牢で正確な光路変換器を比較的簡単な製造方法で得ることができる。

【0089】図33は図32のものと同じ作用、機能を有する別の光路変換器30を示す図である。

【0090】光学素子32は、一方の対角 $A_1A_2N_2$ 、 $A_1N_1N_2$ 、 $L_1M_1M_2$ 、 $L_1M_1M_2$ が $45^\circ$ である平行四辺形を上底 $A_1A_2N_2N_1$ 及び下底 $L_1L_2M_2M_1$ とする角柱に於ける上底及び前面 $A_1L_1L_2A_2$ から、それぞれ直角二等辺三角形 $A_2A_1B_1$ 、 $A_1A_2C_1$ を2面とする三角錐 $A_1C_1A_2B_1$ を切除して形成される。或いは光学素子32は、頂点 $A_1$ と稜 $A_2N_2$ 上の点 $B_1$ と頂点 $A_2$ とを結ぶ角度が $45^\circ$ になるような線 $A_1B_1$ を含み、水平面に対して $45^\circ$ 傾いた面 $A_1B_1C_1$ で上記角柱を切除したものである。



【0091】光学素子32を複数個並列させ、切除した三角錐状空隙部を囲む光学素子32の面A1C1B1及び隣接する光学素子の面の一部A2B1C1に鏡面加工が施されている。このようにして構成された図33の光路変換器30は、図32の光路変換器と同じ機能を有し、第1の反射面 $\sigma 1$ に対する入射光が $90^\circ$ 回転して第2の反射面 $\sigma 2$ から出射する。

【0092】図34は、図33の光路変換器に於ける切り欠きを深くした光路変換器30を示す図である。光学素子32は、図15のプリズムと同じ機能を有し、図33では平行四辺形を底とする角柱の頂点A1が残るように切り欠いているのに対し、頂点A1を含んで切り欠いて台形の反射面S1R1B1C1を第2の反射鏡面 $\sigma 2$ として有する形状をなしている。光学素子の面L1M1N1R1S1が第1の反射鏡面 $\sigma 1$ である。第1の反射鏡面 $\sigma 1$ に水平に入射した光線は2回反射して第2の反射鏡面 $\sigma 2$ から垂直上方に出射する。本光路変換器は、図33の光路変換器と比較して入射光線の入射位置の許容範囲が大きく、光路変換できるエネルギーが大きい。

【0093】図35は、ユニットとしての光学素子を接合する代わりに断面が長方形の角柱を所定の間隔で切り欠いて形成した一体的な光路変換器を示す図である。前面DEIRと上面DGKHは直交しており、稜線DHの部分にリニアアレイレーザダイオードの活性層ストライプに対応した間隔で前面DEIHと $45^\circ$ で交わる鉛直面C2B1R2S3と前面に垂直で上面DGKHと $45^\circ$ で交わる面C2B1R1S2とからなる切り欠きB1R1S2C2S3R2等を形成してある。例えばシリコン半導体製造プロセスを応用することにより、このように微細な構造の光路変換器を製造することが可能である。

【0094】図36は、図35の光路変換器の上面に更に直角プリズム33を接合して図35の光路変換器で垂直上方に出射するレーザビームの方向を $90^\circ$ 偏向させて入射の方向と同じ方向に出射させるようにした光路変換器を示す図である。反射鏡で囲まれた空間で反射して上方に向けて垂直に走る光線はプリズムの下面に入射して斜面で $90^\circ$ 方向を変えて入射光線の光軸と同じ方向に放射される。

【0095】図36の実施例では直角プリズムにより光路を変えたが、直角プリズムの代わりに反射鏡を用いることができる。図37は、図35の光路変換器の上面に第3の反射鏡面 $\sigma 3$ を形成して図35の光路変換器で垂直上方に出射するレーザビームの方向を $90^\circ$ 偏向させて入射の方向と同じ方向に出射させるようにした光路変換器を示す図である。鏡面加工を施した反射鏡 $\sigma 1$ と $\sigma 2$ とで反射して上方に向けて垂直に走る光線は鏡面加工を施した第3の反射鏡面 $\sigma 3$ の下面に入射角 $45^\circ$ で入射して入射光線の光軸と同じ方向に放射される。本実施例の場合鏡面加工を施すことが可能であれば、その材質を選ばないという利点がある。

【0096】図38は、複数の光学素子32を透明円板39に取り付け、扱い易くした光路変換器30である。円板は、厚さ3mm、直径30mmのものを用いた。光学素子及び円板の材料と屈折率が等しい接着剤を用いて光学素子の出射面を円板に接合してある。個々の光学素子を一定の位置に固定化する基板となり、また一体化した光路変換器30が円板の所定の位置に存在するようにしてあるから、適度の大きさを有する円板を扱うことにより所望の位置に制御することができる。

【0097】図39は、図38の円板の代わりにコリメート用の柱状レンズ40に光路変換器30を接合したものを示す図である。コリメート用レンズの断面は入射面が平面で出射面が円弧をなしている。レンズ厚みを大きくして、焦点距離を長くするのが好ましい。複数の光学素子が並列配置されてレンズの平面上に適当な屈折率を有する接着剤により接合され、光路変換器30を形成している。このように構成されたコリメータと光路変換器とにより、半導体レーザ装置全体の構成部品を省いて組み立て工数を省略する効果がある。

【0098】光学素子が一次元分布屈折率レンズである光路変換器であっても良い。

【0099】図40は一次元分布屈折率レンズの作用を説明する図、図41は一次元分布屈折率レンズを用いた光学素子の斜視図である。

【0100】先ず、本実施例の光路変換器の光路変換原理について説明する。図40は、本発明で用いる0.5ピッチ（ピッチはレンズ内に於ける光線の回転周期を表す）の光軸長Lを有する一次元分布屈折率レンズ要素32の断面図を示している。この一次元分布屈折率レンズ要素32は、平板状の光学ガラス体からなり、幅方向についての屈折率の一次元的な分布が、太い二点鎖線で示した中央部で最も高い屈折率 $n_0$ を示し、幅方向の端面側へ進むにつれて屈折率値が次第に小さくなっている。例えば、最大屈折率値 $n_0$ は約1.6程度であり、両端面部との屈折率差は約0.05である。また、このときの0.5ピッチを与えるレンズ長Lはおよそ10mmである。なお、0.5ピッチを与えるためのレンズ長Lは、屈折率分布特性との相関に応じて適宜に設定し得る。

【0101】ここで図40に於ける上方の入射面から入射した光線a・b・d・eは、それぞれが通る部分の屈折率の差に応じた曲線を描いてレンズ内を進み、a'・b'・c'・e'となって下方の出射面から出射する。また中央に入射した光線cは、レンズ内を中央面に沿って直進し、c'となって出射する。

【0102】尚、従来の分布屈折率レンズとしては、屈折率分布が、中心軸上で最も高く、放射方向の周辺部に向かって減少している円柱状の光学ガラス体からなるものが一般的である。これは、ガラスを溶融塩中に浸し、ガラスに予めドーブした銀イオン(Ag<sup>+</sup>)などの一価イオンをアルカリイオンと交換し、イオン拡散分布を利

用して屈折率分布を形成したものである。また、レンズの球面収差を補正するために、光軸方向に屈折率変化を付したのも知られている。円柱ガラスに代えて本実施例のような平板ガラスを用いれば、イオン拡散の時間を適宜に設定して中央の面で高く、端面側で低くなるような屈折率分布を付与することができる。

【0103】このような一次元分布屈折率レンズ要素32を、図41に示すように、入射光線の光軸に平行な平面が水平面に対して $45^\circ$ の傾斜角度をなすように配置し、水平方向に偏平な線状光源からの光線を手前側の入射面34に入射すると、入射面34での線分P1Q1で表すと、P1Q1間の各光線はそれぞれ別々の曲線を描いてレンズ内を進む。そしてレンズ内での光路の中間点である0.25ピッチの位置での線分P2Q2は、入射時に比して $45^\circ$ 傾いて屈折率が最も高い $n_0$ の位置、即ち中央面に沿って横たわる。そして後方の出射面36に於てはさらに $45^\circ$ 傾き、垂直方向を向いた線分P3Q3となって出射する。つまり、面状光線の偏平の向きがレンズ内で $90^\circ$ だけ回転することとなる。

【0104】図42は一次元分布屈折率レンズの光学素子を並列配置した光路変換器を表す図面である。本発明の光路変換器は、光源からの出射時には破線状に直列したストライプ光を、一次元分布の屈折率レンズ要素32を用いて各々 $90^\circ$ 回転させ、あたかも梯子状に並列しているかのように変換するものとしている。即ち、図41に示した一次元分布屈折率レンズ要素32を、図42に示すように、各ストライプ光に1対1に対応させて複数個アレイ状に配列した光路変換器30を用いれば、半導体レーザ発生素子が発する破線状に直列した各々が偏平な複数のストライプ光は、それぞれ対応する一次元分布屈折率レンズ要素32に向かって入射する。そして出射光は、各々その偏平の向きが入射時に比して $90^\circ$ 回転しており、ストライプ光の配列は梯子状になる。

【0105】このようにして、一直線上に破線状に直列した多数のストライプ光Liは、光路変換器30により、見かけ上梯子状に並列したストライプ光Loに変換される。

【0106】上記の構成に於ては、一つのストライプ光に対しての一つの一次元屈折率レンズ要素32を対応させている。従って、幅寸法が小さな活性層を多数配列したものに対しては、一次元分布屈折率レンズ要素として極めて小さなものを用意しなければならないことになる。しかしながら実用上は、複数のストライプ光に対して一つの一次元分布屈折率レンズ要素を対応させても良い。この場合は、隣接する一次元分布屈折率レンズ要素の配列ピッチと同一幅に多数のストライプを分割し、分割した要素毎に $90^\circ$ 回転することになるが、この場合でも、一次元分布屈折率レンズ要素の配列ピッチと同程度にレーザ光を絞ることができる。

【0107】図43は別の一次元分布屈折率レンズを用

いた光学素子の斜視図である。

【0108】この光学素子32は平板状の光学ガラス体からなり、幅方向の一次元分布屈折率分布が単調減少的になっている。偏平なレーザ光線が光学素子の面に対して適宜に傾いて入射すると、光線は屈折率の分布に伴って屈折率の高い方に屈折し、端面で全反射したのち、対称的に屈折して出射面から傾いて出射する。屈折率分布と光学素子の長さを適宜に選択することにより、光線が偏平の向きを $45^\circ$ 傾けて入射すると出射時には偏平の向きが $90^\circ$ 旋回して出射するようにすることができる。このように設計された光学素子を $45^\circ$ 傾けた状態で並列配置すると本願発明の光路変換器を得ることができる。この光学素子は屈折率が平板の一方の端面から単調に変化するため、所定の屈折率分布を与えることが容易で、製造が簡単であるという利点がある。

【0109】図44は、光学ガラス板の両面の対応する位置に同心円状に屈折率を漸減させた半円柱部分を形成させた光路変換器を示す図である。このような半円柱状の屈折率分布は、例えば、予め銀イオンなどの一価イオンをドーブした所定の厚みを有する光学ガラスの入射面と出射面とに $45^\circ$ 傾いた複数の斜線状の開口を有するマスクを当てて熔融塩中に浸漬し、上記一価イオンをアルカリイオンと交換することにより形成することができる。入射面に水平に入射する偏平な光線は、 $45^\circ$ 傾いた半円柱部分で入射位置により異なる屈折力を受けて偏平軸が旋回し、光路変換器の中心で半円柱の軸に平行になる。光線は出射面の半円柱部分に達しここで更に偏平軸が旋回して、入射時と比較すると偏平軸の方向がほぼ $90^\circ$ 異なる状態で出射面から出射する。このようにして、リニアアレイレーザダイオードからのストライプ光は実質的に梯子状に変化する。

【0110】図44の光路変換器は、個々に製造した光学素子を複数集積して接合する必要がなく、平板ガラスにイオン拡散処理を施すことにより容易に製造できるという利点を有する。

【0111】図45は、シンドリカルレンズを並列配置した光路変換器を表す図である。この光路変換器は、断面が直線と円弧と囲まれた弓形のシンドリカルレンズの軸を $45^\circ$ 傾けて並列配置したものを適当な距離を有する空間を挟んで対向配置したものである。入射面に水平に入射する偏平な光線は、 $45^\circ$ 傾いたシンドリカルレンズで入射位置により異なる屈折力を受けて偏平軸が旋回し、更に出射面から $45^\circ$ 傾いたシンドリカルレンズで偏平軸が合計ほぼ $90^\circ$ 旋回して出射面から出射する。本光路変換器を使用することにより、リニアアレイレーザダイオードからのストライプ光は実質的に梯子状に変化する。

【0112】図46は、別のシンドリカルレンズを並列配置した光路変換器を表す図である。この光路変換器は、断面が二つの円弧で囲まれた形をしたシンドリカ

ルレンズの軸を $45^\circ$ 傾けて並列配置したものを空間を挟んで対向配置したものである。図45のシリンダカルレンズと比較すると設計の自由度が多いため、的確な光路変換器をより容易に作成することができる。レンズの屈折率、曲率、入射面と出射面との距離等によっては、本シリンダカルレンズの断面は、真円であっても良く、断面が円である場合には、光路変換器が容易に形成できる利点がある。

【0113】図47は、入射面と出射面とが円柱表面を有し側面が平行で内部が稠密になっている光学ガラス製光学素子を複数接合した光路変換器を示す。光学素子は水平面に対して $45^\circ$ 傾斜している。入射面に水平に入射する偏平な光線は、 $45^\circ$ 傾いた出射面の円柱表面で生じる異なる屈折力を受けて偏平軸が旋回し、更に出射面の $45^\circ$ 傾いた円柱表面で偏平軸が合計ほぼ $90^\circ$ 旋回して出射面から出射する。このようにして、リニアアレイレーザダイオードからのストライプ光は実質的に梯子状に変化する。ストライプ光の間隔と整合する場合は、側面が平行面である必要はなく、断面が真円であるシリンダレンズを利用することも可能である。

【0114】図48は、光学ガラスのブロックから作成した光路変換器を示す。本光路変換器は、断面が長方形をした光学ガラス製角柱の入射面と出射面に同じ方向に $45^\circ$ 傾いた円柱表面を複数形成したもので、図47の光路変換器と同じ機能を有するものである。

【0115】光路変換器は回折を利用する光学素子を使用したものであっても良い。

【0116】図49(a)及び図49(b)は、バイナリオプティクスを利用する光学素子を示す図である。該光学素子は透明板の軸に垂直な方向に、中心軸に対して対称に深さが変化する多数の溝を設けたものである。溝の深さは、回折を利用して中心から外に向かうに連れて回折角を増すように変化する。このようなバイナリオプティクスは光学ガラスやプラスチックからなり、金型を用いて製造することも可能である。

【0117】図50(a)及び図50(b)は、ラミナー型のフレネルゾーン板を利用する光学素子を示す図である。該光学素子は透明板の軸に垂直な方向に、中心軸に対して対称に間隔が異なる多数の矩形波状の溝を設けたものである。溝間隔は回折を利用して中心から外に向かうに従い入射光線に対する回折角を増すように変化する。このような矩形波状の溝を有するフレネルゾーン板はエッチング法やレプリカ法により作成することができる。

【0118】図51は、マスク型のフレネルゾーン板を利用する光学素子を示す図である。該光学素子は透明板の軸に垂直な方向に、中心軸に対して対称に間隔が異なる多数のスリットを設けたものである。スリット間隔は図50のフレネルゾーン板利用光学素子と同様中心から外に向かうに連れて入射光線に対する回折角を増すよう

に変化する。このようなスリットを有するフレネルゾーン板は不透明体のマスクでスリットを形成することにより作成することができる。

【0119】図52は、回折を利用した光学素子を入射面と出射面とに形成し、これを図45の場合と同様に空間を挟んで対向させて構成した光路変換器を示す図である。この光路変換器は、軸が水平に対して $45^\circ$ 傾いた光学素子をリニアアレイレーザダイオードの活性層ストライプ毎に対応して並列的に設けたものである。水平方向に偏平な光線を入射させると、光学素子の中心線から離れたところほど回折角が大きいので、光線が入射面を透過するときに偏平軸が中心軸に近づく方向に旋回して、出射面に到達した後、光逆進の法則により入射面で更に同じ方向に同じ量だけ旋回して、結局約 $90^\circ$ 偏平軸を旋回させて出射する。これは図45の機能とまったく同様である。

【0120】(実施例3)第53図は、本発明の半導体レーザ励起固体レーザ装置を説明するブロック図である。該半導体レーザ励起固体レーザ装置は、実施例1の半導体レーザ装置を固体レーザ80の励起光源として使用する。リニアアレイレーザダイオードを利用した従来の半導体レーザ装置は光学系でエネルギーを集中しても横長の領域に限られ実質的なエネルギー密度は大きくなかった。また、このエネルギーを有効に利用しようとする固体レーザの側面励起しかできなかった。本実施例の半導体レーザ励起固体レーザ装置は、リニアアレイレーザダイオード10の点線状発光ストライプを短い焦点距離 $f_1$ を有する第1の柱状レンズ20によりストライプと垂直な方向に収束した後に光路変換器30を用いて梯子状レーザビームに変換し、次いで長い焦点距離 $f_3$ を有する第2の柱状レンズ40で梯子状レーザビームの幅方向に集束した後に、集束レンズ50で固体レーザ80の受光面上の小さい領域にエネルギーを収束させる。実施例1の半導体レーザ装置は、前述の通り、縦方向 $f_2/f_1$ と幅方向 $f_2/f_3$ とで異なる収束力を用いて所定の狭い範囲にエネルギーを集中することができる。このため実施例1の半導体レーザ装置を利用した本願の半導体レーザ励起固体レーザ装置は、リニアアレイレーザダイオード10の出力を有効に活用できると共に固体レーザ80の端面励起をも可能にするものである。固体レーザ素子として、YAG、YLFなど通常の固体レーザ素子のほか、Qスイッチや波長変換素子を含む固体レーザ素子も利用できる。また、固体レーザ素子への励起光源の入射がブリュースター角をもって行われても良い。固体レーザ素子は短吸収長レーザ結晶( $YVO_4$ )であっても良い。本発明の半導体レーザ励起固体レーザ装置により、10Wの半導体レーザ素子を用いて3WのYAGレーザ出力を得ることができた。

【0121】図54は、本発明の光ファイバー導光半導体レーザ励起固体レーザ装置を説明するブロック図であ

る。該光ファイバー導光半導体レーザ励起固体レーザ装置は、実施例1の半導体レーザ装置の出力を光ファイバー60で導光して固体レーザ80の励起光源とする。光ファイバーの出力部には端部から放散されるレーザビームのエネルギーをコリメートして再度収斂させるための光学系70が設けられている。このように半導体レーザ装置部分と固体レーザ装置部分の間に柔軟な光ファイバーが介在するため、装置の自由度が飛躍的に増大し、構成が容易になる利点がある。本発明の光ファイバー導光半導体レーザ励起固体レーザ装置により、10Wの半導体レーザ素子を用いて2WのYAGレーザ出力を得ることができた。

【0122】図55は、リニアアレイ半導体レーザ素子を2つ用いることにより出力を倍増した半導体レーザ励起固体レーザ装置を説明するブロック図である。該装置は、第2柱状レンズ40、40'と集束レンズ50との間に偏光ビームスプリッタ(PBS)90を備えたものである。偏光ビームスプリッタ90は偏光方向が互いに直交する直線偏光光束の一方に対しては高反射膜であり、他方に対しては低反射膜である。二つのリニアアレイ半導体レーザ素子10、10'の出力光線を互いに直交させ、その直交位置に偏光ビームスプリッタPBS90を配置し、一方の出力がPBS90を直進し、他方の出力がPBS90の反射面で反射して合成されて集束レンズ50に入射し固体レーザ80の励起面に集光される。二つのレーザビームの偏光方向が偏光ビームスプリッタで直交するため、半導体レーザ装置は互いに直交する向きに設備される。このように構成することにより、2つの半導体レーザ素子の出力を利用することができ、レーザ装置の出力は倍増する。

【0123】図56は、別の出力増倍式半導体レーザ励起固体レーザ装置を示す図である。図55の半導体レーザ励起固体レーザ装置では、偏光方向を直交させるために半導体レーザ装置そのものを直交的に設備したが、本実施例では、その代わりに、一方の出力に1/2波長位相板( $\lambda/2$ 板)95を介在させている。図中、偏光ビームスプリッタ90の左側にある半導体レーザ装置からの直線偏光光束が偏光ビームスプリッタをほぼ100%透過する。一方偏光ビームスプリッタ90の上に描かれた半導体レーザ装置からの直線偏光光束は $\lambda/2$ 板95を透過して偏光方向が90°回転するため、偏光ビームスプリッタの偏光膜で100%に近い反射をする。このようにして、二つの半導体レーザ装置からの光束は偏光ビームスプリッタで合成されて固体レーザ装置80の励起面に照準されて固体レーザ素子を励起する。このような構造によれば、装置の幅方向の大きさが小さくなる。

【0124】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の半導体レーザ装置は、リニアアレイレーザダイオードが発生するレーザエネルギーは極めて小さな面積に収束させること

ができることから、十分にレーザ加工や医療用に用いることができる。また、本発明の光路変換器を使用してリニアアレイ半導体レーザのエミッタを実質的に梯子状に配列する効果をもたらした半導体レーザ装置は極めて小さい焦点にリニアアレイ半導体レーザのエネルギーを集中することが可能になる。更に本発明の半導体レーザ励起固体レーザ装置は強力な半導体レーザを活用した端面励起が可能となり効率が高くビームの質が良い固体レーザ出力を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】リニアアレイレーザダイオードのレーザビームの指向性を説明する図。

【図2】従来技術の半導体レーザ装置を説明するブロック図。

【図3】本発明の半導体レーザ装置の平面図。

【図4】図3に示した半導体レーザ装置の立面図。

【図5】QCWLD等を用いた本発明の半導体レーザ装置の平面図。

【図6】光ファイバを用いた本発明に係る半導体レーザ装置の平面図。

【図7】図6に示した半導体レーザ装置の立面図。

【図8】本発明の光路変換器を説明するブロック図。

【図9】光路変換器の構成要素としての光学素子の機能を説明するブロック図。

【図10】2枚の反射面の組合せで光路変換をする場合の原理を説明する図。

【図11】反射面に於ける反射の条件を説明する図。

【図12】三角錐の形状をした光学素子を示す斜視図。

【図13】図12の光学素子を並列配置した本発明の光路変換器の斜視図。

【図14】図13の光路変換器に更に直角プリズムを付加した別の本発明光路変換器の斜視図。

【図15】三角錐台の形状をした光学素子を示す斜視図。

【図16】図15の光学素子を並列配置した本発明の光路変換器の斜視図。

【図17】図16の光路変換器に更に直角プリズムを付加した別の本発明光路変換器の斜視図。

【図18】3個の反射面を有する斜角柱プリズムからなる光学素子を示す斜視図。

【図19】斜角柱プリズムの原理を説明する図。

【図20】図18の光学素子を並列配置して得られる光学変換器の斜視図。

【図21】3個の反射面を有する斜角柱プリズムからなる別の光学素子を示す斜視図。

【図22】図21の光学素子を並列配置して得られる光路変換器の斜視図。

【図23】図22の光路変換器と等価の一体的な光路変換器の斜視図。

【図24】図23の光路変換器を製造する方法を説明す

る図。

【図 2 5】図 2 3 の光路変換器に於ける光線の軌跡を説明する図。

【図 2 6】図 2 3 の光路変換器の作用を説明する図。

【図 2 7】三角錐プリズムを軸対称に組み合わせた複合プリズムからなる光学素子を示す斜視図。

【図 2 8】第 2 7 図の複合プリズムを並列配置して得た光路変換器の斜視図。

【図 2 9】ダブリズムからなる光学素子を示す斜視図。

【図 3 0】ダブリズムを並列配置して得られる光路変換器の斜視図。

【図 3 1】反射鏡を利用する図 1 2 に対応する光学素子を示す斜視図。

【図 3 2】図 3 1 の光学素子を並列配置して得られる光路変換器の斜視図。

【図 3 3】反射鏡を利用する図 1 2 に対応する光学素子を並列配置して得られる別の光路変換器の斜視図。

【図 3 4】図 3 3 の光路変換器の於ける切欠きを深くした光路変換器の斜視図。

【図 3 5】図 3 4 の光路変換器と等価な一体的光路変換器の斜視図。

【図 3 6】図 3 5 の光路変換器に直角プリズムを接合して形成された光路変換器の斜視図。

【図 3 7】図 3 5 の光路変換器の上面に更に第 3 の反射鏡面を形成した光路変換器の部分を示す一部切欠き斜視図。

【図 3 8】複数の光学素子を透明円板に取り付けた光路変換器の斜視図。

【図 3 9】コリメート用の柱状レンズに光路変換器を接合したものを示す図。

【図 4 0】一次元分布屈折率レンズの作用を説明する図。

【図 4 1】一次元分布屈折率レンズを用いた光学素子の斜視図。

【図 4 2】図 4 1 の光学素子を並列配置した光路変換器の斜視図。

【図 4 3】別の一次元分布屈折率レンズを用いた光学素子の斜視図。

【図 4 4】光学ガラス板の両面に同心円状の屈折率分布を有する半円柱部分を形成された光路変換器の斜視図。

【図 4 5】シリンドリカルレンズを並列配置した光路変

換器の斜視図。

【図 4 6】別のシリンドリカルレンズを並列配置した光路変換器の斜視図。

【図 4 7】入射面と出射面とが円柱表面を有する光学素子を並列配置した光路変換器の斜視図。

【図 4 8】光学ガラスのブロックから作成した光路変換器の斜視図。

【図 4 9】(a)、(b) 共にバイナリオプティクスを利用する光学素子の説明図。

【図 5 0】(a)、(b) 共にラミナー型のフレネルゾーン板を利用する光学素子の説明図。

【図 5 1】マスク型のフレネルゾーン板を利用する光学素子の説明図。

【図 5 2】回折を利用した光路変換器の説明図。

【図 5 3】本発明の半導体レーザ励起固体レーザ装置を説明するブロック図。

【図 5 4】本発明の光ファイバー導光半導体レーザ励起固体レーザ装置を説明するブロック図。

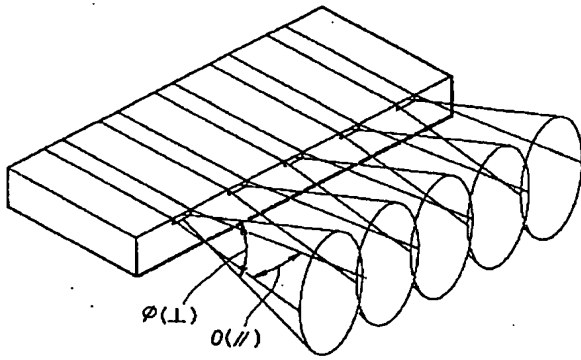
【図 5 5】リニアアレイ半導体レーザ素子を 2 つ用いた半導体レーザ励起固体レーザ装置のブロック図。

【図 5 6】リニアアレイ半導体レーザ素子を 2 つ用いた別の半導体レーザ励起固体レーザ装置のブロック図。

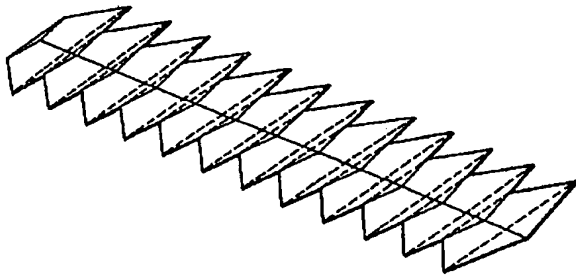
【符号の説明】

- 1 0 マルチストライプアレイ半導体レーザ
- 1 2 活性層ストライプ
- 2 0 第 1 の柱状レンズ
- 3 0 光路変換器
- 3 2 光学素子
- 3 3 直角プリズム
- 3 4 受光面
- 3 6 出力面
- 3 7、3 8 レーザビーム
- 3 9 第 3 の反射面  $\sigma$  3 と平行する面
- 4 0 第 2 の柱状レンズ
- 5 0 集束レンズ
- 6 0 光ファイバ
- 7 0 光学系
- 8 0 固体レーザ
- 9 0 偏光ビームスプリッタ
- 9 5 1/2 波長位相板
- 3 0 0 板材

【图 1】

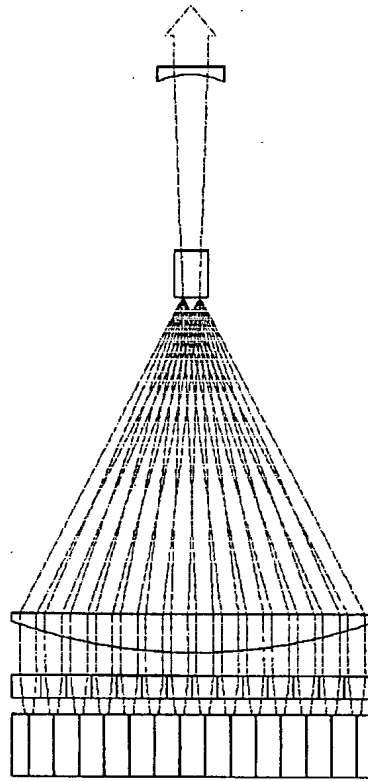


【图 1 6】

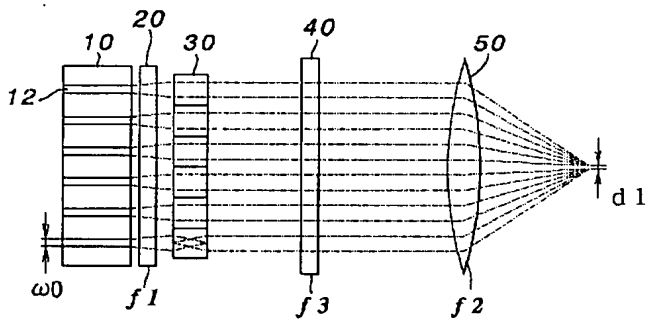


【图 3】

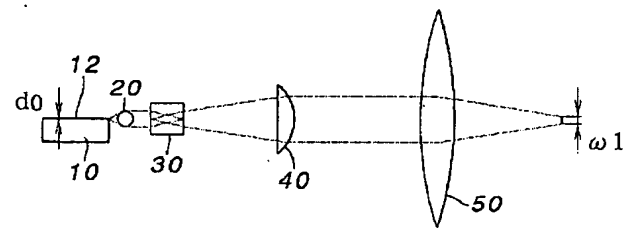
【图 2】



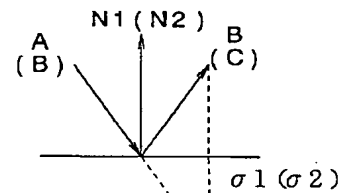
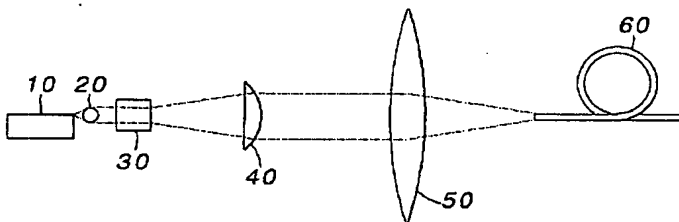
【图 4】



【图 7】

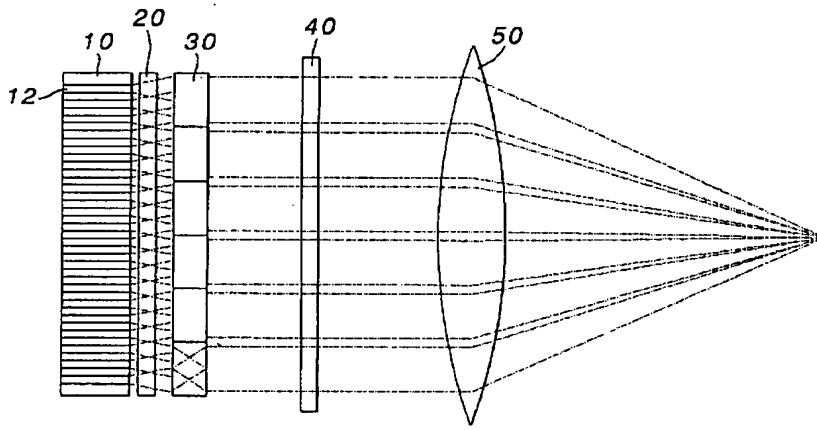


【图 1 1】

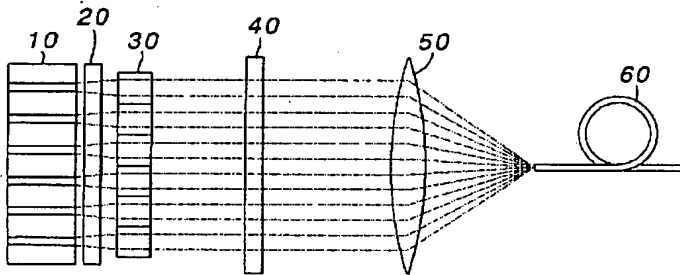


$$\begin{aligned} B &= A - 2 (A \cdot N1) N1 \\ C &= B - 2 (B \cdot N2) N2 \\ B_p &= A_p - 2 (A_p \cdot N1) N1 \\ C_p &= B_p - 2 (B_p \cdot N2) N2 \end{aligned}$$

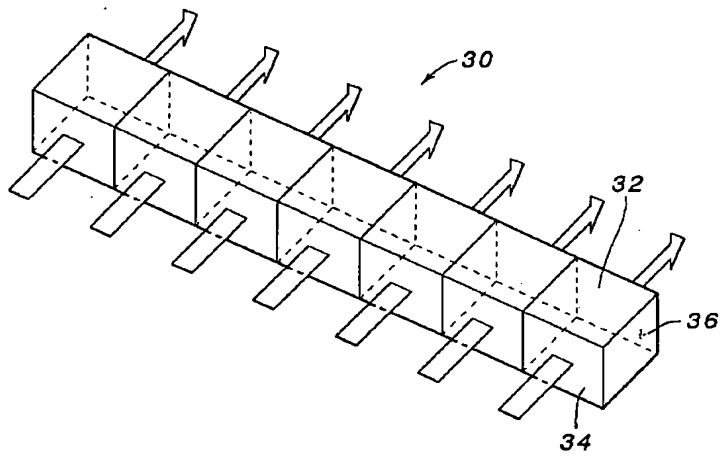
【図5】



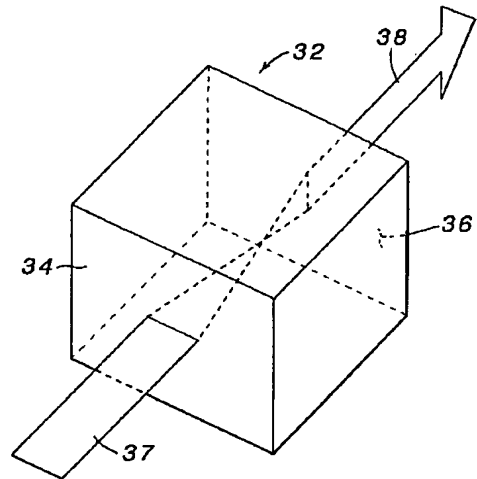
【図6】



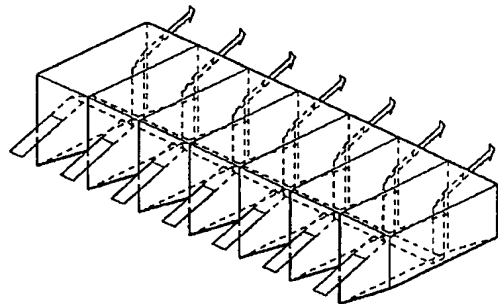
【図8】



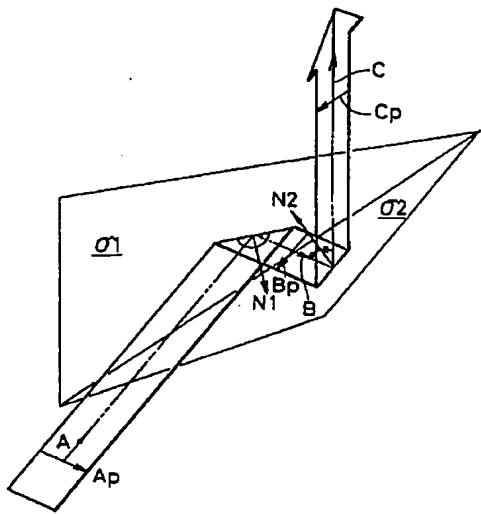
【図9】



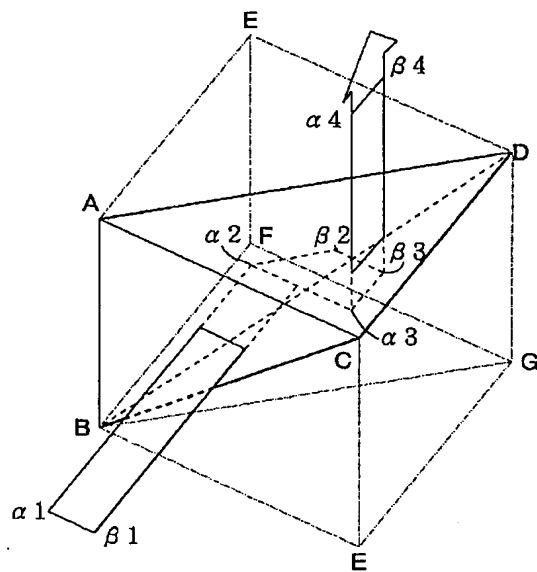
【図22】



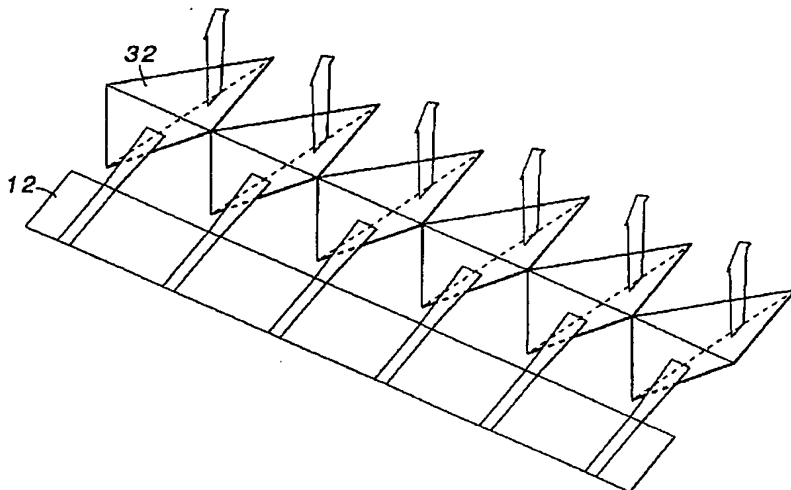
【图 10】



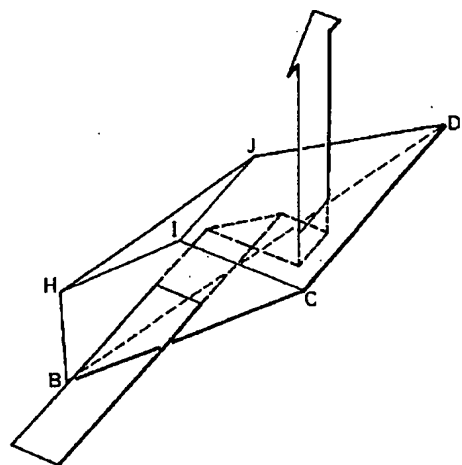
【图 12】



【图 13】

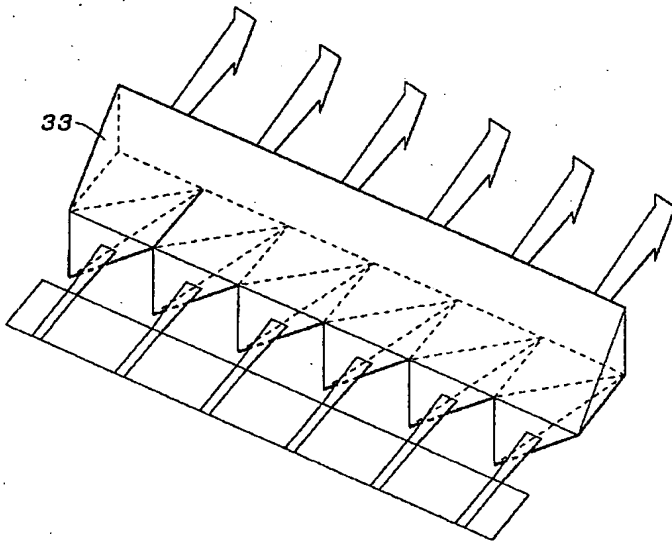


【图 15】

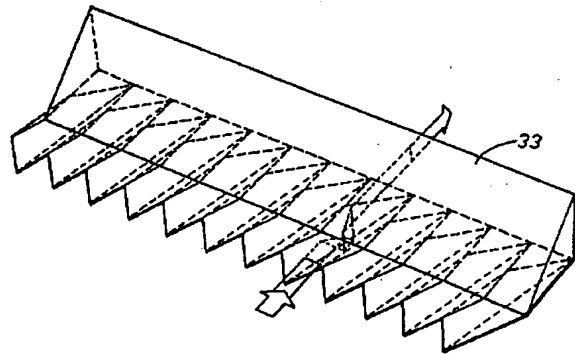




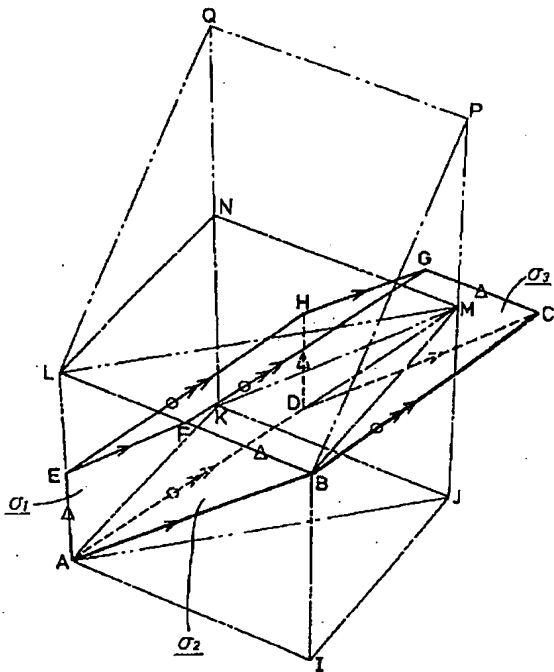
【图 14】



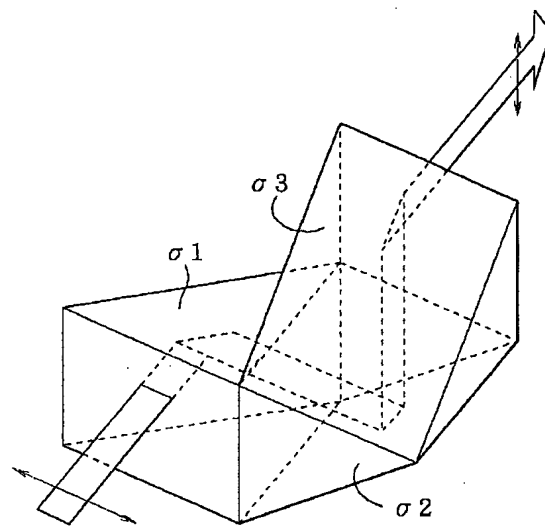
【图 17】



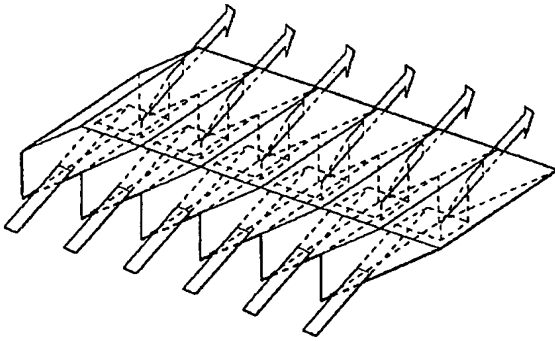
【图 18】



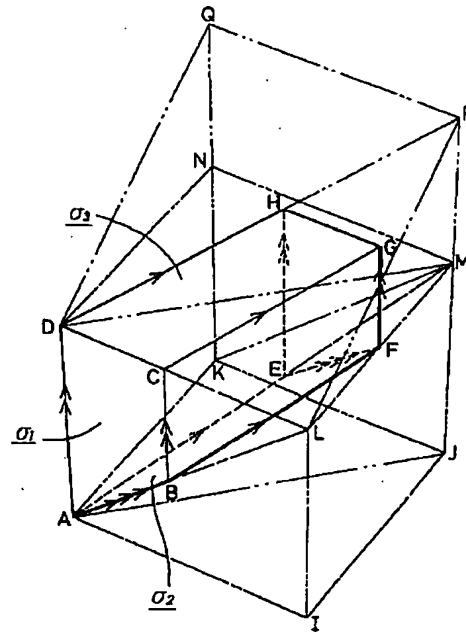
【图 19】



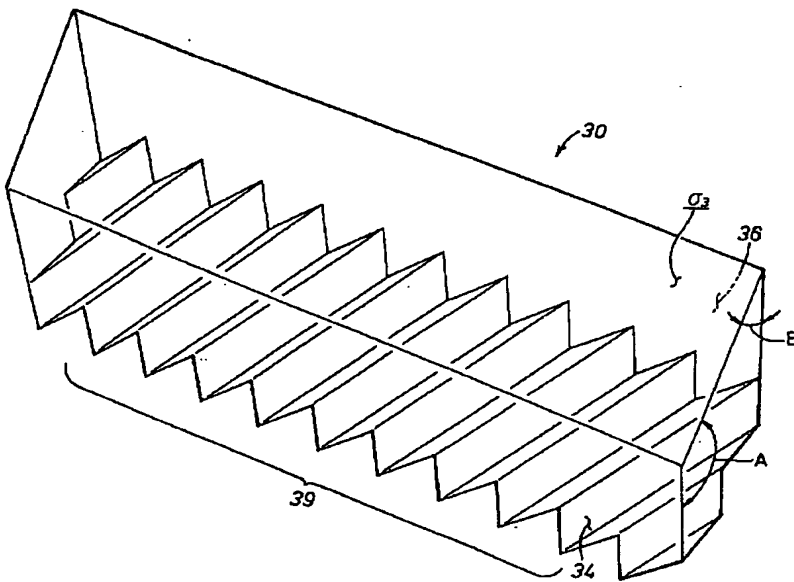
【図 20】



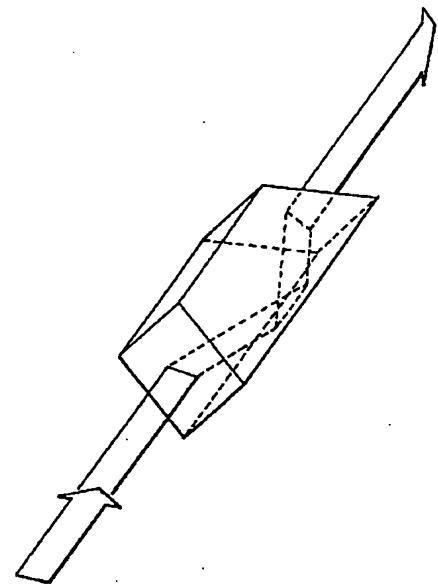
【図 21】



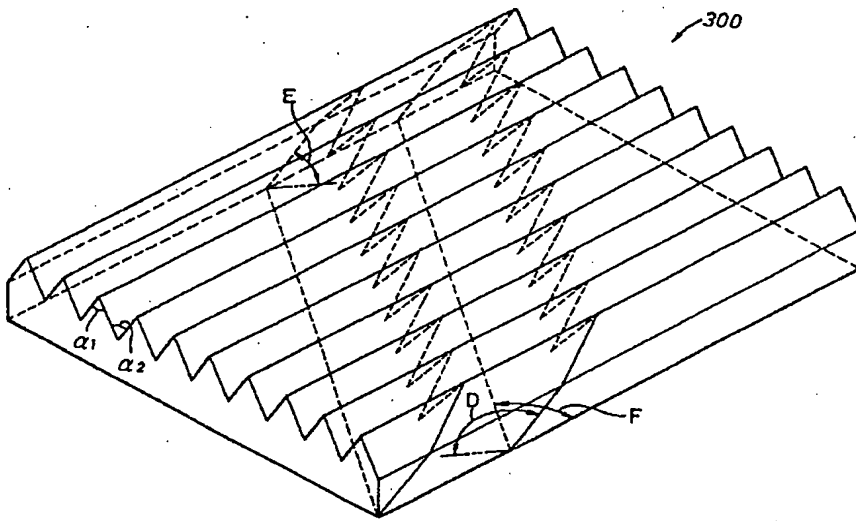
【図 23】



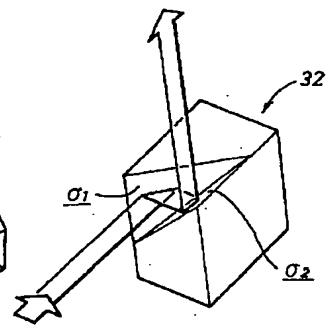
【図 29】



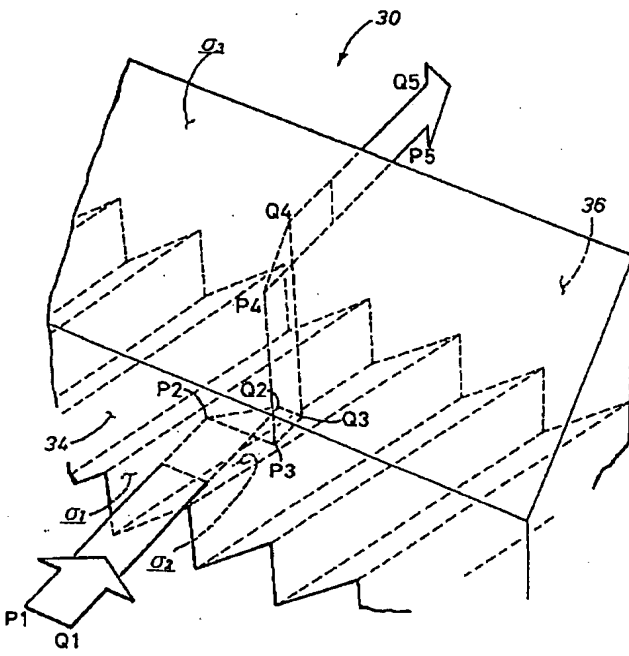
【図 24】



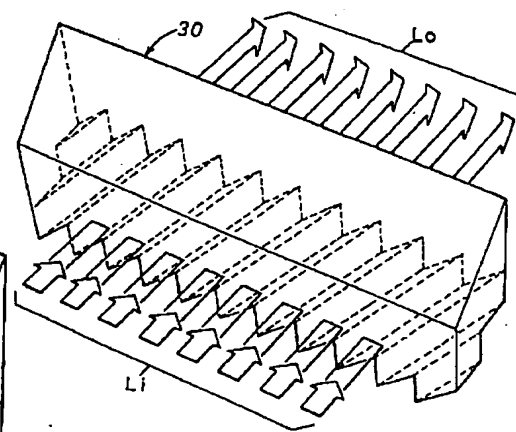
【図 31】



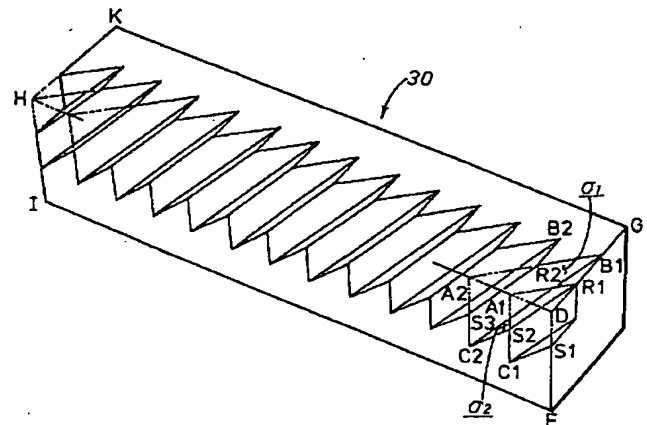
【図 25】



【図 26】



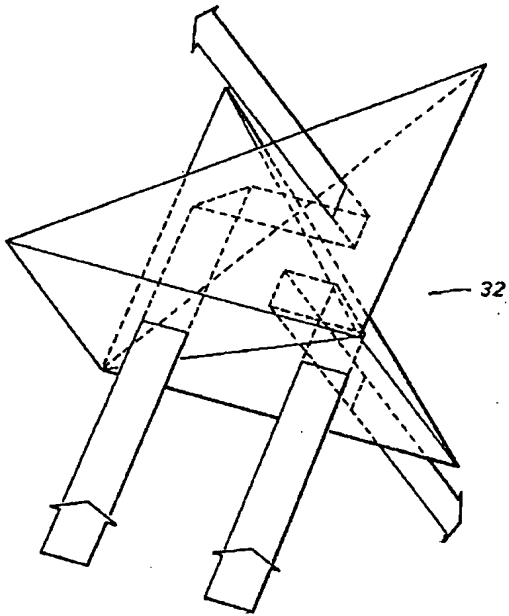
【図 35】



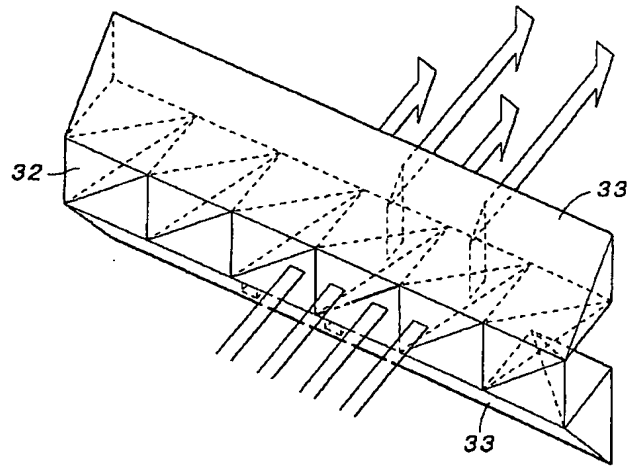
【図 51】



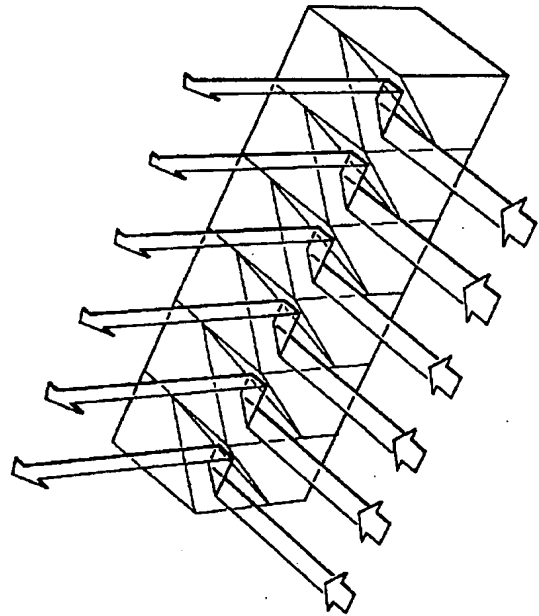
【図 27】



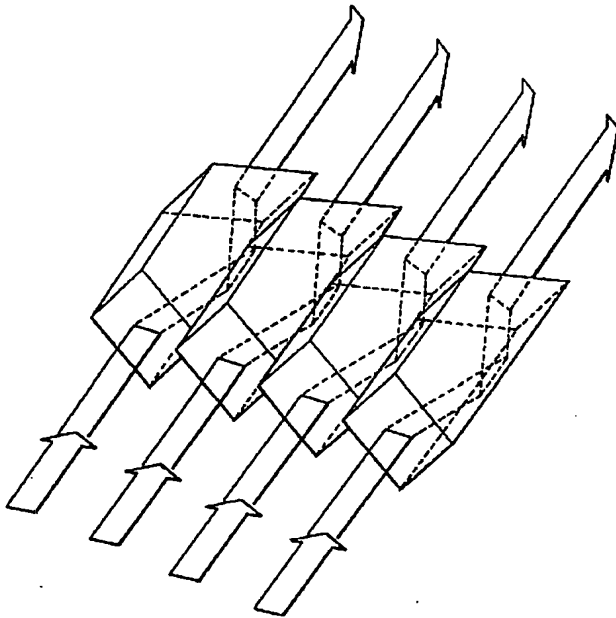
【図 28】



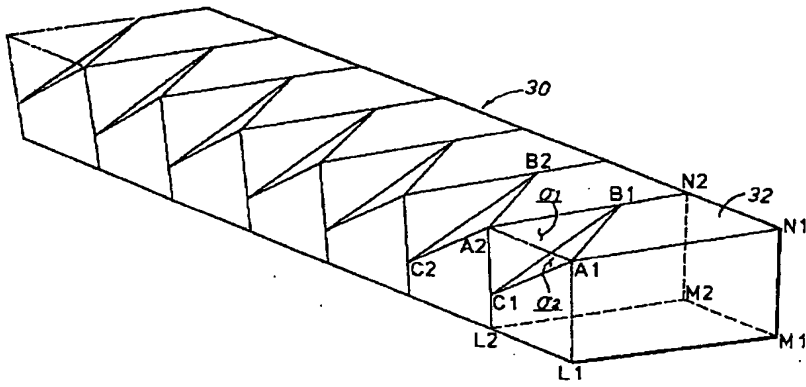
【図 32】



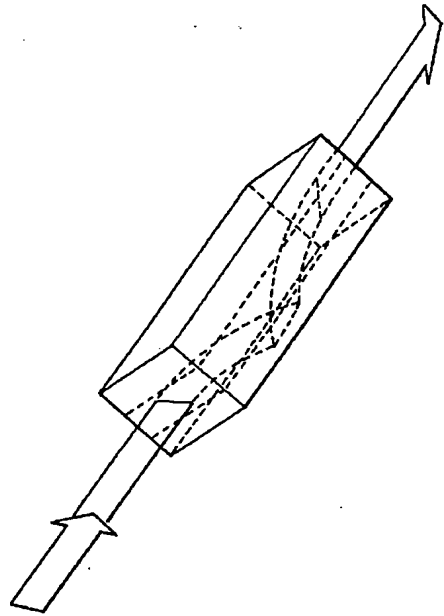
【図 30】



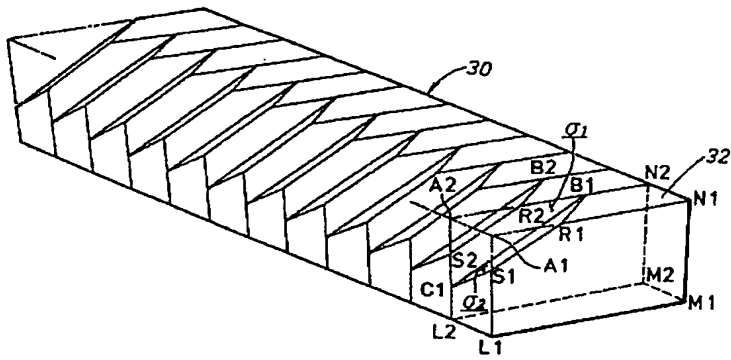
【図 3 3】



【図 4 3】

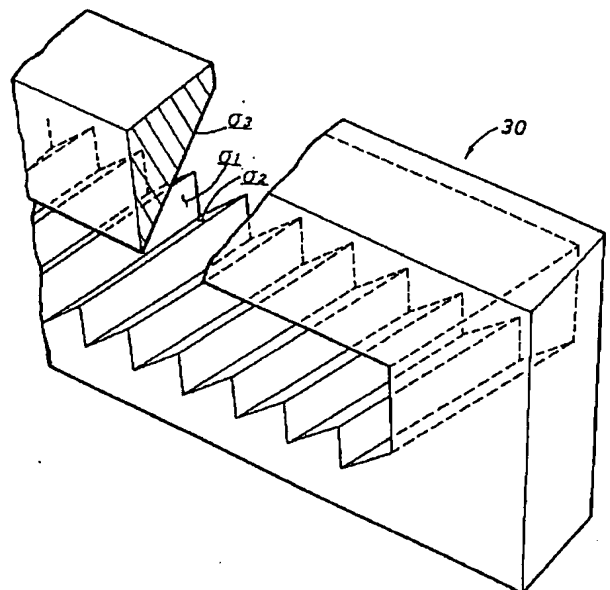
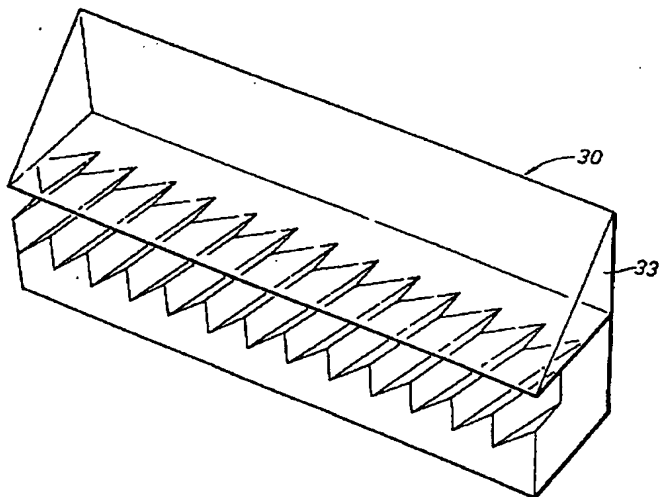


【図 3 4】

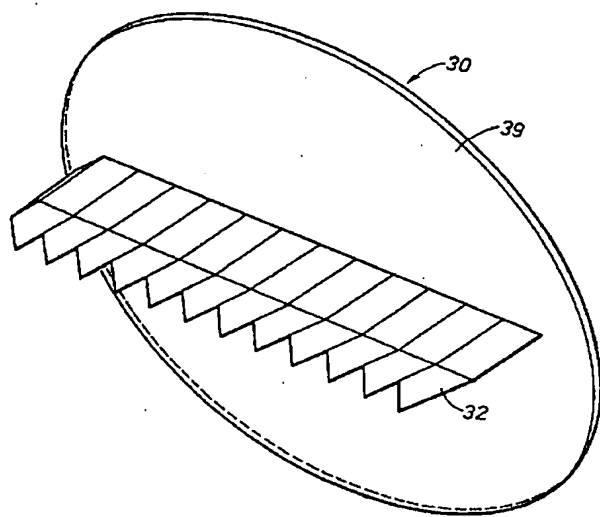


【図 3 6】

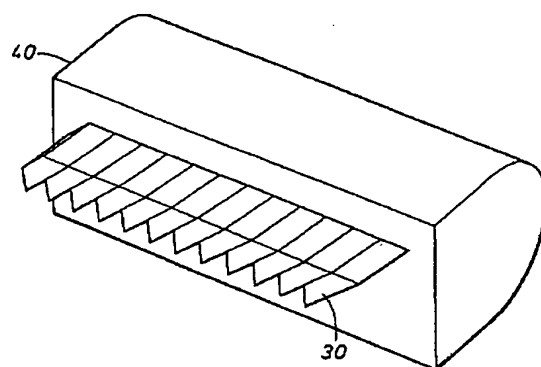
【図 3 7】



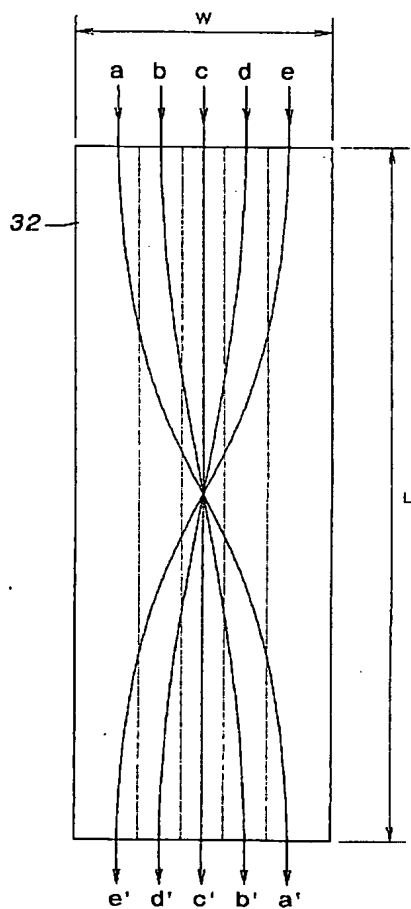
【図38】



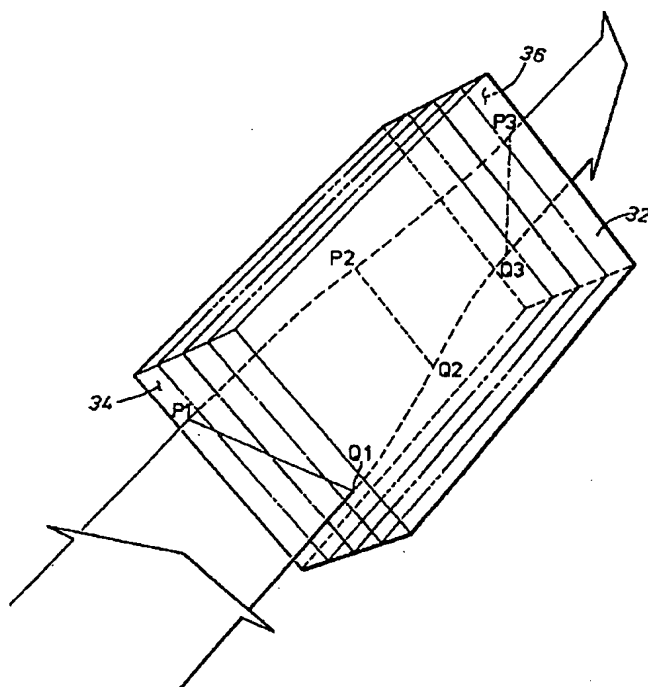
【図39】



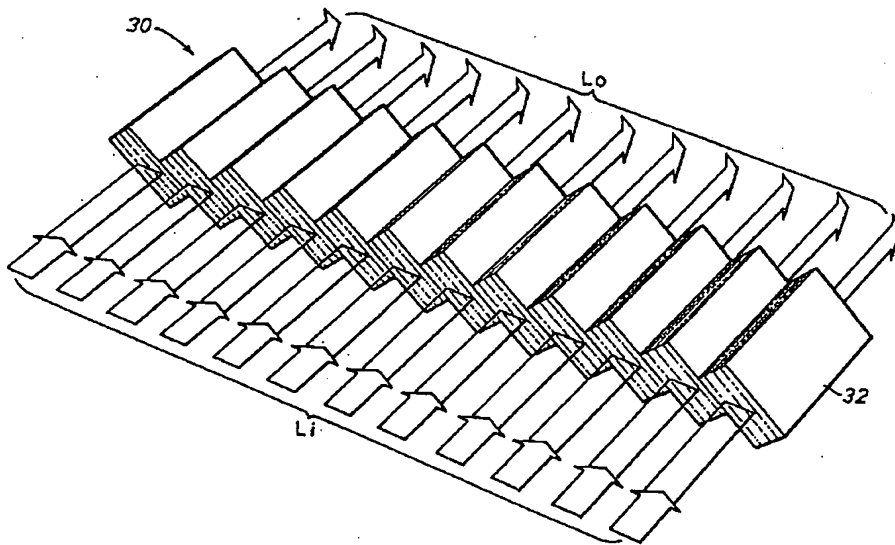
【図40】



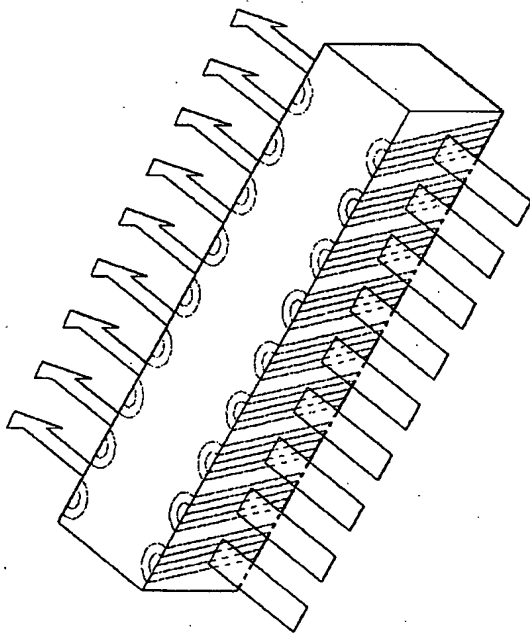
【図41】



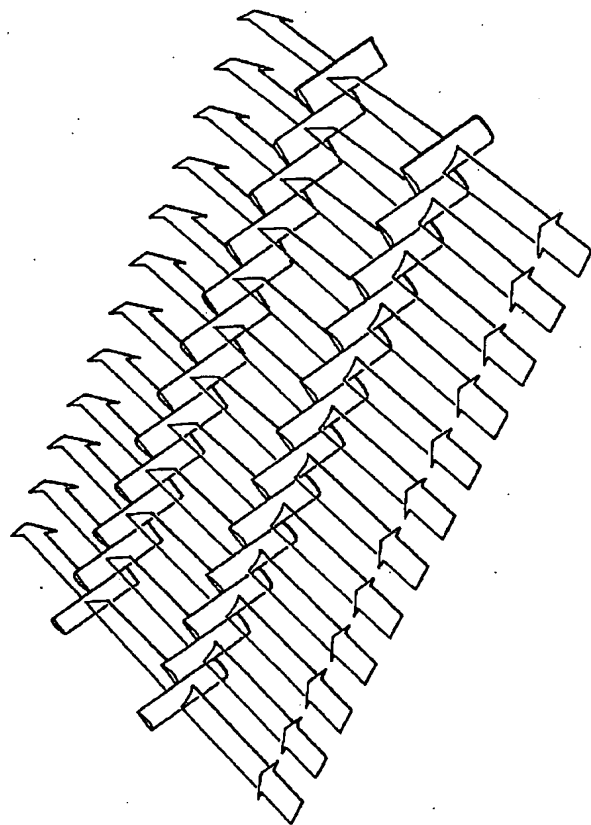
【图 4 2】



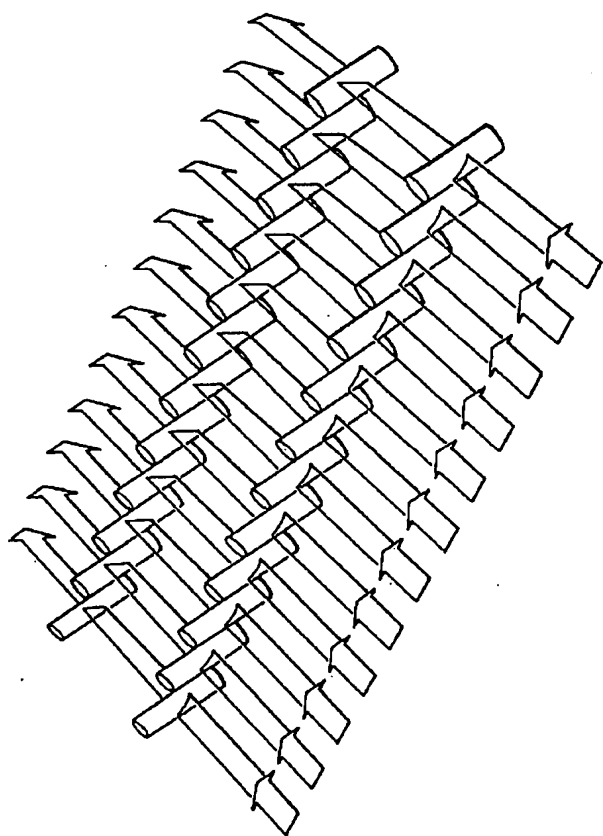
【图 4 4】



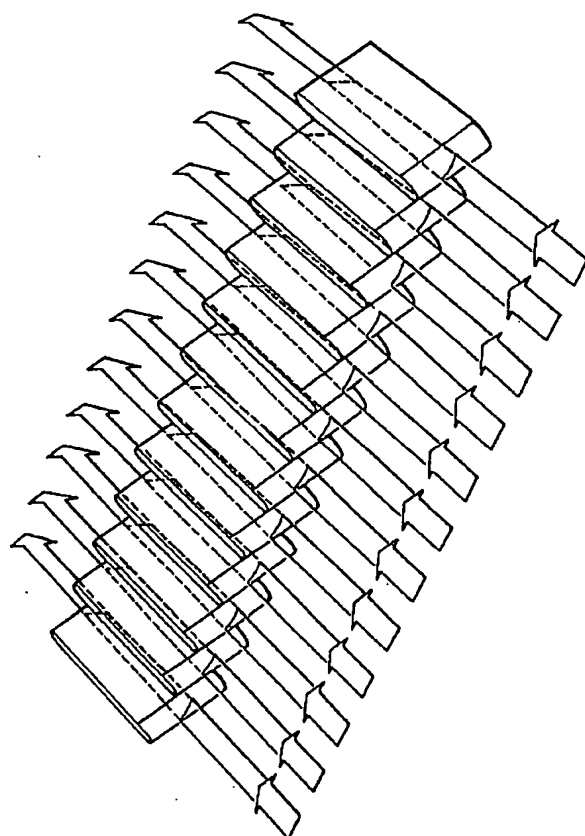
【图 4 5】



【图 46】



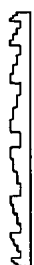
【图 47】



【图 49】

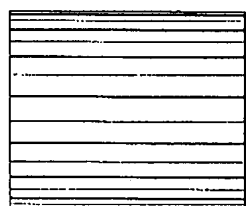


(a)



(b)

【图 50】



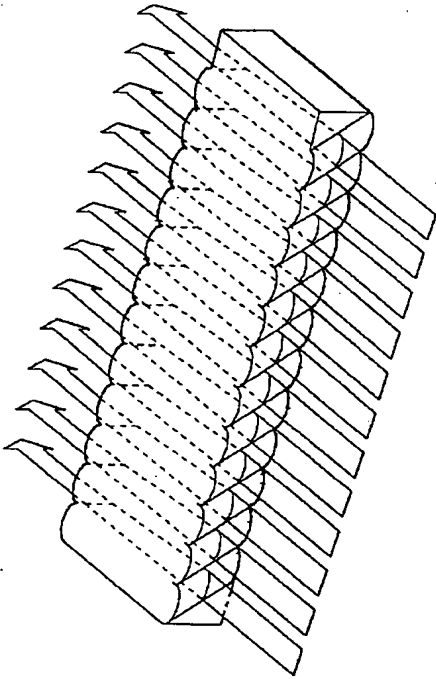
(a)



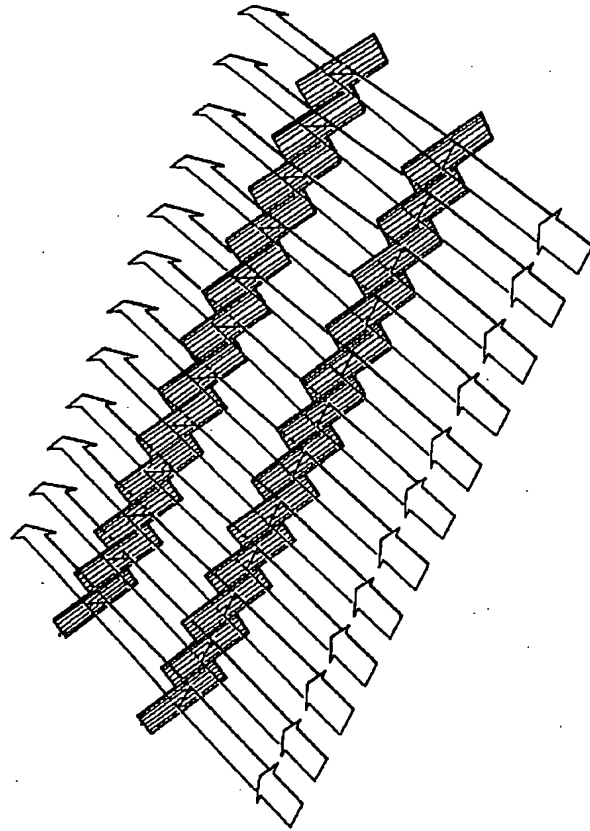
(b)



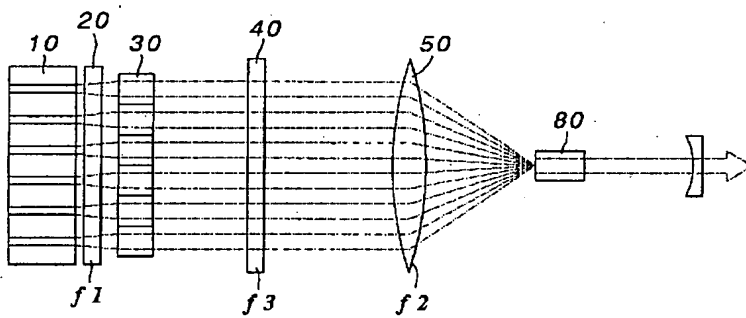
【图 48】



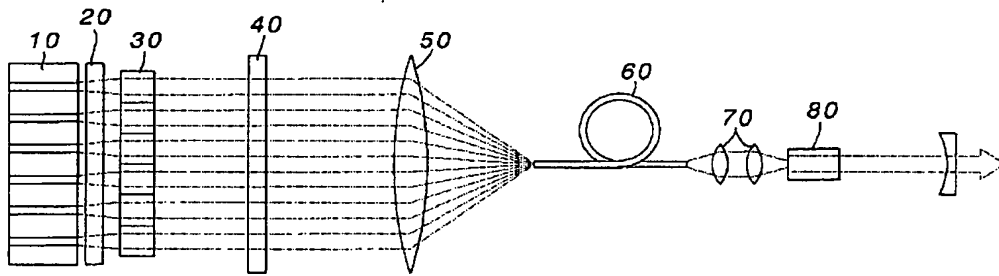
【图 52】



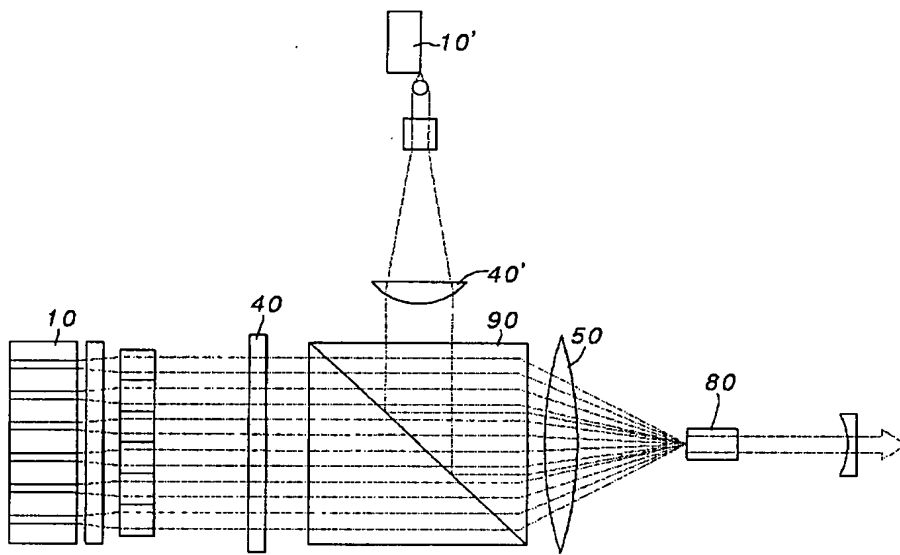
【图 53】



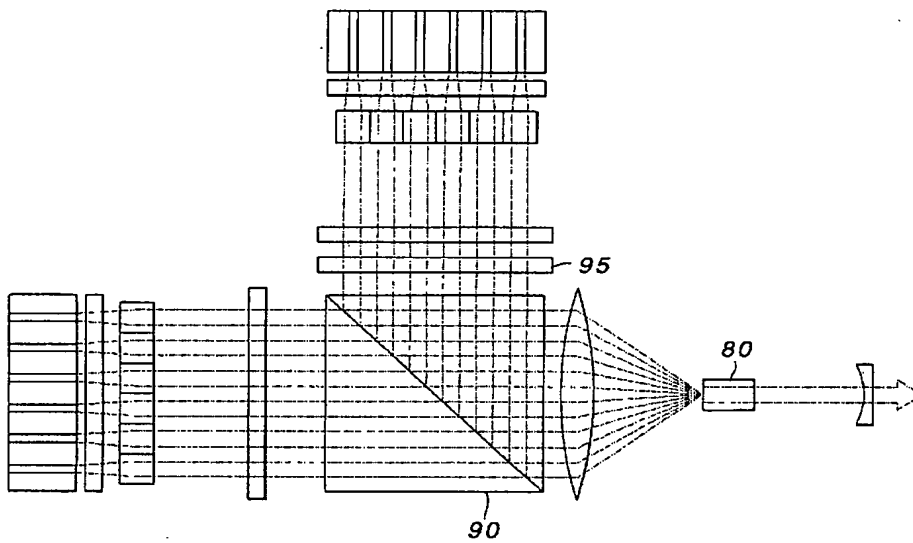
【図 5 4】



【図 5 5】



【図 5 6】



フロントページの続き

| (51)Int. Cl. <sup>6</sup> | 識別記号              | 庁内整理番号 | F I     | 技術表示箇所                   |
|---------------------------|-------------------|--------|---------|--------------------------|
| H 0 1 S 3/25              |                   |        |         |                          |
| (31)優先権主張番号               | 特願平5-197926       |        | (72)発明者 | 小林 哲郎                    |
| (32)優先日                   | 平 5 (1993) 7 月14日 |        |         | 東京都千代田区大手町 2 - 6 - 3 新日本 |
| (33)優先権主張国                | 日本 ( J P )        |        |         | 製鐵株式会社内                  |
| (31)優先権主張番号               | 特願平5-201116       |        | (72)発明者 | 斉藤 吉正                    |
| (32)優先日                   | 平 5 (1993) 7 月20日 |        |         | 東京都千代田区大手町 2 - 6 - 3 新日本 |
| (33)優先権主張国                | 日本 ( J P )        |        |         | 製鐵株式会社内                  |